

(19) 世界知的所有權機關
國際事務局



13 JUL 2004

(43) 國際公開日
2003 年 7 月 24 日 (24.07.2003)

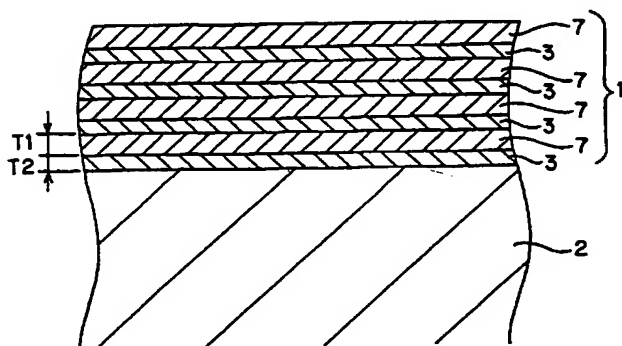
PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/060933 A1

- | | | |
|--|-----------------------------|---|
| (51) 国際特許分類: | H01F 10/16 | 会社内 Tokyo (JP). 村瀬 琢 (MURASE, Taku) [JP/JP];
〒103-8272 東京都 中央区 日本橋一丁目 1 3 番 1 号
ティーディーケー株式会社内 Tokyo (JP). 山崎 陽太
郎 (YAMAZAKI, Yohtarō) [JP/JP]; 〒226-0026 神奈川
県 横浜市 緑区 長津田町4259 Kanagawa (JP). |
| (21) 国際出願番号: | PCT/JP03/00163 | |
| (22) 国際出願日: | 2003 年1 月10 日 (10.01.2003) | |
| (25) 国際出願の言語: | 日本語 | (74) 代理人: 大場 充 (OBA, Mitsuru); 〒101-0032 東京都 千
代田区 岩本町 1 丁目 4 番 3 号 KMビル 8 階 大場国
際特許事務所 Tokyo (JP). |
| (26) 国際公開の言語: | 日本語 | (81) 指定国 (国内): CN, KR, US. |
| (30) 優先権データ: | | (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (DE, FR, GB, NL). |
| 特願2002-007059 | 2002 年1 月16 日 (16.01.2002) | JP |
| 特願2002-117079 | 2002 年4 月19 日 (19.04.2002) | JP |
| 特願 2002-366192 | 2002 年12 月18 日 (18.12.2002) | JP |
| (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ティー
ディーケー株式会社 (TDK CORPORATION) [JP/JP];
〒103-8272 東京都 中央区 日本橋一丁目 1 3 番 1 号
Tokyo (JP). | | 規則4.17に規定する申立て:
— すべての指定国のための不利にならない開示又は新
規性喪失の例外に関する申立て (規則4.17(v)) |
| (72) 発明者; および | | 添付公開書類:
— 国際調査報告書
— 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する
申立て |
| (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 崔 京九
(CHOI, Kyung-Ku) [KR/JP]; 〒103-8272 東京都 中央
区 日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケー株式 | | 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。 |

(54) Title: HIGH-FREQUENCY MAGNETIC THIN FILM, COMPOSITE MAGNETIC THIN FILM, AND MAGNETIC DEVICE USING SAME

(54) 発明の名称: 高周波用磁性薄膜、複合磁性薄膜およびそれを用いた磁気素子



(57) Abstract: A high-frequency magnetic thin film characterized by comprising a first layer made of a T-L composite (where T is Fe or FeCo, and L is one or two kinds of C, B, and N) and a second layer formed on one side of the first layer and made of a Co-based noncrystalline alloy. The high-frequency magnetic thin film has a multilayer structure of a plurality of the first layers and a plurality of the second layers or desirably has a multilayer structure of alternated first and second layers. The thin film has characteristics such that the real part (μ') of the complex permeability is 400 or more at 1 GHz, a performance index Q ($Q = \mu' / \mu''$) is 4 or more, and a saturation magnetization is 14 kG (1.4T) or more.



(57) 要約:

T-L組成物（ただし、 $T = \text{Fe}$ または FeCo 、 $L = \text{C}$ 、BおよびNの1種または2種以上）からなる第1の層と、第1の層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層とを含むことを特徴とする高周波用磁性薄膜を提供する。本発明の高周波用磁性薄膜は、複数の第1の層と複数の第2の層とが積層、望ましくは交互に積層された多層膜構造によって構成されることが望ましい。本発明の高周波用磁性薄膜は、1 GHzにおける複素透磁率の実数部（ μ' ）が400以上で、かつ性能指数 Q （ $Q = \mu' / \mu''$ ）が4以上、飽和磁化が14 kG（1.4 T）以上の特性を得ることができる。

明 細 書

高周波用磁性薄膜、複合磁性薄膜およびそれを用いた磁気素子

技術分野

- 5 本発明は、高い飽和磁化を有するとともに、GHzの高周波帯域で高い透磁率および性能指数Qを示す磁性薄膜に関し、特に、薄膜インダクタや薄膜トランスなどの高周波用平面型磁気素子、あるいはモノリシックマイクロ波集積回路（MMIC）に用いられる磁性薄膜およびインダクタに関する。

10 背景技術

磁気素子の小型化、高性能化に伴い、高い飽和磁化を有し、かつGHzの高周波数帯域における透磁率が高い磁性薄膜材料が求められている。

- 例えば、ワイヤレス送受信装置や携帯情報端末を中心に需要が高まっているモノリシックマイクロ波集積回路（MMIC）は、Si、GaAs、InPな
15 どの半導体基板上に、トランジスタなどの能動素子と、線路、抵抗、キャパシタ、インダクタなどの受動素子とを、一括的かつ一体的に作製して構成される高周波集積回路である。

- このようなMMICにおいては、受動素子、特にインダクタやキャパシタが能動素子に比べ、大きな面積を占めている。このような受動素子の大面积の占有は、結果として、高価な半導体基板の大量消費、すなわち、MMICのコ
20 ストアップにつながる。従って、チップ面積を縮小し、MMICの製造コストを低減するために、受動素子が占める面積を縮小することが課題となっている。

- MMICのインダクタとしては平面型のスパイラルコイルが多く用いられている。そのスパイラルコイルの上下面、或いは片面に軟磁性薄膜を挿入し、
25 インダクタンスを増加させる方法（換言すれば、小さな占有面積でも従来のインダクタンスが得られる方法）がすでに提案されている（例えば、J. Appl. Phys. 85, 7919 (1999)）。

しかしながら、磁性材料をMMICのインダクタへ応用するためには、先ず、GHzの高周波数帯域における透磁率が高く、かつ損失が少ない薄膜磁性材料を開発することが求められている。さらには渦電流損失を減ずる為に比抵抗が大きいことも求められている。

- 5 従来、高い飽和磁化を持つ磁性材料としてFeあるいはFeCoを主成分とする合金が良く知られている。ところが、Fe系またはFeCo系合金からなる磁性薄膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また、比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることは困難であった。
- 10 一方で、軟磁気特性が優れている材料として、Co系非結晶質合金が知られている。このCo系非結晶質合金は、Coを主成分としY, Ti, Zr, Hf, Nb, Taなどから選択される1種または2種以上の元素を含む非結晶質を主体とするものである。ところがゼロ磁歪組成のCo系非結晶質合金の磁性薄膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の透磁率は大きいものの、
- 15 飽和磁化が11kG(1.1T)程度であり、Fe系に比べて小さい。さらに、100MHz程度の周波数およびこれを超えてから損失成分(透磁率の虚数部 μ'')が大きくなり、性能指数Q値が1以下となり、GHzの高周波帯域で使用する磁性材料としては好適とは言えない。

- 20 このような適用困難な材料を用いてGHz帯のインダクタを実現させるために、磁性薄膜をマイクロワイヤ化させ、形状異方性エネルギーを増大させることにより、共鳴周波数を高周波化する試みも行われている(例えば、日本応用磁気学会誌、24, 879(2000))。しかしながら、この方法では工程が複雑となってしまうばかりか、さらに、磁性薄膜の実効透磁率が低下してしまうという問題がある。

- 25 このような実情のもとに従来より、軟磁性薄膜の高周波特性を改良するために種々の提案がなされてきた。その改良の基本方針としては、渦電流損失を抑制させたり、あるいは共鳴周波数を上昇させることなどが挙げられる。渦電流損失を抑制させる具体的な方策としては、例えば、磁性層/絶縁層(高抵抗層)

- との積層による多層化（例えば、特開平 7-249516 号公報）や、金属-非金属（酸化物、フッ化物）のグラニューラー化（例えば、J. Appl. Phys. 79, 5130 (1996)）などが提案されている。しかしながら、これらの方法では、高抵抗の非磁性相が挿入されているために、飽和磁化が低下するという問題が生じる。また、金属-非金属のグラニューラー膜の場合は、透磁率が 200 以下であり、透磁率が低いという問題もある。

- 一方、軟磁性層と高飽和磁化層を交互に積層した多層膜による高飽和磁化薄膜についての検討も行われている。すなわち、CoZr/Fe（日本応用磁気学会誌、16, 285 (1992)）、FeBN/FeN（特開平 5-101930 号公報）、FeCrB/Fe（J. Appl. Phys. 67, 5131 (1990)）、Fe-Hf-C/Fe（日本応用磁気学会誌、15, 403 (1991)）など様々な組み合わせの例が報告されている。これらのものはいずれも飽和磁化を高くすることには効果がある。しかしながら、これらのものはいずれも高周波帯域での透磁率が大きくなり、GHz 周波数帯域への応用は期待できない。

- このような実状のもとに本発明は創案されたものであり、その目的は、GHz 帯域の高周波領域で、高い透磁率を有し、かつ高い飽和磁化を有する高周波用磁性薄膜を提供することにある。また、本発明は、そのような磁性薄膜を用いた磁気素子を提供することを目的とする。

20 発明の開示

- 本発明の高周波用磁性薄膜は、数 100MHz 以上の周波数帯域、特に、1GHz 以上の GHz 周波数帯域で使用することができる。このような高周波帯域における透磁率（以下、単に「高周波透磁率」と称す）は、試料の様々な物性と複雑に関係する物性である。この透磁率がもっとも関係が密なものとして、異方性磁界と飽和磁化がある。概ね、透磁率と共鳴周波数の積は、異方性磁界の $1/2$ 乗および飽和磁化の $3/2$ 乗に比例する関係にある。

共鳴周波数は、

$$f_r = (\gamma / 2\pi) [H_k 4\pi M_s]^{1/2} \quad \dots \text{式 (1)}$$

という関係式(1)で表される。ここで、 f_r は共鳴周波数を表し、 γ はジャイロ磁気定数を表し、 H_k は異方性磁界を表し、 $4\pi M_s$ は飽和磁化を表している。

従って、材料の異方性磁界および飽和磁化を大きくすることで共鳴周波数を上げ、使用限界周波数を上げることが可能となる。従来のCo系非結晶質合金薄膜の代表的な一例であるCoZrNb非結晶質合金薄膜の共鳴周波数を2 GHzまで向上させるために必要な異方性磁界を上記式(1)を用いて計算してみる。すると、440e (3501.52 A/m)以上の異方性磁界を必要とすることが算出される。この算出結果により、通常、150e (1193.7 A/m)程度の異方性磁界しか持たない当該膜を、GHz周波数帯域へ応用することは困難であることが分かる。ところが、2 GHzの共鳴周波数を実現するために必要とされる異方性磁界は、飽和磁化が、14 kG (1.4 T)の場合は360e (2864.88 A/m)、18 kG (1.8 T)の場合は280e (2228.24 A/m)となり、飽和磁化および結晶磁気異方性が大きいFe系合金またはFeCo系合金との組み合わせにより必要な飽和磁化および異方性磁界を実現することが期待できる。

従来より、FeあるいはFeCoを主成分とする合金は高飽和磁化を示す材料として広く知られていた。しかしながら、Fe系またはFeCo系合金の磁性薄膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることが困難であった。その主原因としては、以下のことが考えられていた。すなわち、第2図に示すように、スパッタなどで成膜したFe系またはFeCo系の薄膜101は、基板100の垂直方向に柱状に成長しており、この柱状構造に起因する垂直磁気異方性の発生が問題とされていた。

しかしながら、本発明者らが鋭意研究したところ、Feに所定量のC(炭素)添加したFe-C薄膜において以下のことを知見した。

(1) 所定厚さを有するFe-C薄膜も柱状構造をなすが、厚さが70 nm程度以下であれば、柱状構造のアスペクト比(柱の長さと巾の比、長さ÷巾)が小さいために優れた軟磁気特性が得られる。具体的には、柱状成長しているF

e-Cの平均巾は約50nmであり、柱状構造のアスペクト比が1.4以下となる厚さ70nm程度までは、柱状構造による軟磁気特性の劣化を抑制できる。このようなアスペクト比のFe-C薄膜を得るためには、第3図に示すように、Co系非結晶質合金薄膜111をFe-C薄膜112とFe-C薄膜112との間に介在させることが有効である。そうすることによって、Fe-C結晶粒の連続的な柱状構造の成長を阻止することができるからである。

(2) Fe-C薄膜の成長過程を綿密に調査したところ、厚さ3nm以下程度までの膜成長初期段階においては、結晶粒径が3nm以下の微結晶状態になり、さらに、不安定な表面の割合が多くなるため、非結晶質（アモルファス）の特徴が現れる。つまり、第4図に示すように、Fe-C薄膜121は基板120上に形成された非結晶質構造部分121aと、非結晶質構造部分121a上に形成される柱状構造部分121bとから構成される。非結晶質であることは、X線回折により、Fe-C薄膜の場合にはFe-Cのbcc(110)結晶面の回折ピークが現れないことから判断すればよい。このような非結晶質構造の薄膜は、柱状構造にならないことはもちろん、非結晶質構造に起因する高抵抗(100μΩcm以上)特性が得られる。したがって、Co系非結晶質合金薄膜と積層する形態を採択すれば、軟磁気特性はもちろん高抵抗化が実現でき、GHz帯域における透磁率が大いとともに、渦電流損失が抑制され性能指数が大い磁性薄膜を得ることができる。

(3) 以上の(1)、(2)の事項は、Fe-C薄膜に限らず、FeCo-C薄膜、さらにはCをBまたはNで置換した場合でも有効である。

すなわち、本発明は、上述したように軟磁気特性に優れているCo系非結晶合金の薄膜と、高飽和磁化かつ高異方性磁界を持つFe-(C, B, N)またはFeCo-(C, B, N)薄膜とを積層させて、GHz領域(1GHz)で透磁率の実数部(μ')が200以上で、かつ性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)が1以上、飽和磁化が12kG(1.2T)以上の特性を容易に得ることができる高周波用の複合磁性薄膜の提供を可能にしたのである。

したがって本発明は、 $T-L$ 組成物（ただし、 $T=Fe$ または $FeCo$ 、 $L=C$ 、 B および N の1種または2種以上）からなる第1の層と、第1の層のいずれかの面側に配置された Co 系非結晶質合金からなる第2の層とを含むことを特徴とする高周波用磁性薄膜を提供する。

- 5 本発明の高周波用磁性薄膜は、複数の第1の層と複数の第2の層とが積層、望ましくは交互に積層された多層膜構造によって構成されることが望ましい。

- 本発明の高周波用磁性薄膜は、 1 GHz における複素透磁率の実数部（ μ' ）が 400 以上で、かつ性能指数 Q （ $Q=\mu'/\mu''$ ）が 4 以上、飽和磁化が 14 kG （ 1.4 T ）以上の特性を得ることができる。なお、本発明において、
10 これら特性は成膜したままの状態を得ることができる。つまり、成膜完了からの経過時間を問わないが、成膜後に例えば熱処理等の処理を加えていない状態で測定した値によって本発明で規定する特性を具備するか否かの判断を行うことができる。ただし、成膜後に熱処理等の処理を加えた場合であっても、本発明で規定する特性を具備するものは本発明の範囲に含まれることは言うまでも
15 ない。以下も同様である。

この特性は第1の層および第2の層の厚さを規定することによって得ることができる。具体的には、第1の層の厚さを T_1 、第2の層の厚さを T_2 とした場合に、 T_1 を $3\sim70\text{ nm}$ の範囲とし、かつ T_1/T_2 を $0.15\sim3.50$ の範囲とすることにより、上記特性を得ることができる。

- 20 また本発明の高周波用磁性薄膜によれば、 1 GHz における複素透磁率の実数部（ μ' ）が 500 以上で、かつ性能指数 Q （ $Q=\mu'/\mu''$ ）が 10 以上、飽和磁化が 14 kG （ 1.4 T ）以上の特性を得ることができる。

- この特性は第1の層および第2の層の厚さを規定することによって得ることができる。具体的には、第1の層の厚さを T_1 、第2の層の厚さを T_2 とした
25 場合に、第1の層の厚さ T_1 を $0.5\sim3.0\text{ nm}$ の範囲とし、かつ T_1/T_2 を $0.8\sim3.0$ の範囲とすることにより、上記特性を得ることができる。

また、本発明の好ましい態様として、第2の層を構成する Co 系非結晶質合金は、 Co を主成分とし、 B 、 C 、 Si 、 Ti 、 V 、 Cr 、 Mn 、 Fe 、 Ni 、

- 7 -

Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の添加元素を含んで形成される。

また、本発明の好ましい態様として、Co系非結晶質合金は、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, CoZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMoから
5 選択されるように構成される。

また、本発明の好ましい態様として、第1の層は、その中に含有されるL元素の濃度が2～20at%であるように構成される。

10 以上の本発明によれば、FeまたはFeCoを主成分とし、単層膜で飽和磁化が16kG(1.6T)以上の特性を有する第1の層と、Coを主成分とし、単層膜で透磁率1000以上(測定周波数:10MHz)、飽和磁化が10kG(1.0T)以上、比抵抗が100 $\mu\Omega$ cm以上の特性を有する第2の層とが交互に積層している複合磁性薄膜が提供される。なお、第1の層はアスペクト比が1.4以下の柱状構造を主体とするか、または非結晶質構造から構成される
15 ことが望ましい。

本発明の高周波用磁性薄膜は磁気素子の構成要素として用いることができる。この磁気素子を構成する、高周波用磁性薄膜は、T-L組成物(ただし、T=FeまたはFeCo、L=C, BおよびNの1種または2種以上)からなる第1の層と、第1の層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層とが交互に積層された多層膜であることを特徴とする。
20

本発明の磁気素子は、コイルを挟持するように対向配置された高周波用磁性薄膜を有するものとして構成することができる。そして、平面型の磁気素子であって、その磁気素子がインダクタまたはトランスとすることができる。また、
25 モノリシックマイクロ波集積回路に用いられるインダクタへの適用も本発明の望ましい態様として掲げることができる。

図面の簡単な説明

第1図は本発明の高周波用磁性薄膜の断面図、第2図はFe系またはFeCo系薄膜の結晶粒の状態を示す断面模式図、第3図はFe-C薄膜とCo系非結晶質合金薄膜とを積層したときのFe-C薄膜の結晶粒の状態を示す断面模式図、第4図は第3図の部分拡大断面図、第5図は厚さ T_1 が3nm以下のFe-C薄膜とCoZrNb非結晶質合金薄膜とを積層した複合磁性薄膜のX線回折結果を示す図、第6図は本発明の高周波用磁性薄膜が適用されたインダクタの一例を示す平面図、第7図は第6図のA-A矢視断面図、第8図は本発明の高周波用磁性薄膜が適用されたインダクタの他の例を示す断面図、第9図は本発明の高周波用磁性薄膜が適用されたインダクタの他の例を示す平面図、第10図は第9図のA-A矢視断面図、第11図は実施例1にて作製した複合磁性薄膜の磁化曲線、第12図は実施例1にて作製した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフ、第13図は実施例2にて作製した複合磁性薄膜の磁化曲線、第14図は実施例2にて作製した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフ、第15図は実施例3にて作製した複合磁性薄膜の磁化曲線、第16図は実施例3にて作製した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフ、第17図は実施例5にて作製した複合磁性薄膜の透過型電子顕微鏡による断面像、第18図は実施例10にて作製した複合磁性薄膜の磁化曲線、第19図は実施例10にて作製した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフ、第20図は実施例11にて作製した複合磁性薄膜の磁化曲線、第21図は実施例11にて作製した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフ、第22図は実施例12にて作製した複合磁性薄膜の磁化曲線、第23図は実施例12にて作製した複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を示すグラフ、第24図は実施例1～9、比較例1～4で作製した磁性薄膜の磁気特性等を示す図表、第25図は実施例10～19、比較例5で作製した磁性薄膜の磁気特性等を示す図表、第26図は実施例20～27で作製した磁性薄膜の磁気特性等を示す図表である。

発明を実施するための最良の形態

以下に本発明の実施の形態について説明する。

本発明の高周波用磁性薄膜 1 は、第 1 図の模式的断面図に示されるように、
C o 系非結晶質合金層 3 と T-L 組成物層 7 とが交互に積層された多層膜構造
5 をなす複合磁性薄膜である。第 1 図に示される実施の形態では合計 8 層からなる多層膜構造が例示されている。

高周波用磁性薄膜 1 は、T-L 組成物層 7 と、T-L 組成物層 7 の一方の面側に配置された C o 系非結晶質合金層 3 との組み合わせがその基本的な構成となる。

10 T-L 組成物層 7 の T は F e または F e C o であり、L は C, B および N の 1 種または 2 種以上である。F e または F e C o を主成分とする合金からなる薄膜は、高い飽和磁化を示すものの、保磁力が大きくかつ非抵抗が小さくなる傾向にあった。そこで本発明は、軟磁気特性を向上することのできる L (C, B および N の 1 種または 2 種以上) を含有する。ここで、T-L 組成物層 7 は
15 2 つの形態を包含する。1 つは、T-L 組成物層 7 のアスペクト比が 1. 4 以下の柱状構造を有する形態である。この形態をなすことより高飽和磁化および優れた軟磁気特性を得ることができる。また他の 1 つは、非結晶質構造である。T-L 組成物層 7 が非結晶質構造をなすことにより、さらなる軟磁気特性の向上および高電気抵抗が達成できる。高周波特性に効果を見出すためには、T-L
20 L 組成物層 7 は、単層膜で飽和磁化 1. 6 T 以上の特性を有することが望ましい。なお、T-L 組成物層 7 のアスペクト比が 1. 4 以下の柱状構造を有する形態においても、薄膜形成初期段階で非結晶質構造が形成されていることから、本願発明における柱状構造とはこの非結晶質構造部分を含む意味と解釈するものとする。

25 T-L 組成物層 7 は膜厚が厚くなり、アスペクト比が 1. 4 を超えて 2. 0 以上になると、垂直磁気異方性が堅調にあらわれ、軟磁気特性が劣化してしまう。本発明においては、T-L 組成物層 7 に存在する全ての結晶粒のアスペクト比が 1. 4 以下であることが最も望ましいが、そのアスペクト比の増加分が

30%以下、さらには10%以下の結晶粒を部分的に含有することを許容する。したがって、本発明ではT-L組成物層7の厚さ(T1)は100nm以下、望ましくは70nm以下とする。前述したように、T1が3nm以下になると、T-L組成物層7は前述のように非結晶質構造になり、性能的には、例えば、

5 T1を0.2nmまで薄くしても性能の低下は起こらない。しかし、T1が薄くなりすぎると積層回数が増えるため、成膜時間が長くなるという製造上の不具合が生じる。従って、T1は、0.5nm以上、さらには1.0nm以上とすることが望ましい。

第5図は厚さT1が3nm以下のFe-C薄膜とCoZrNb非結晶質合金

10 薄膜とを積層した複合磁性薄膜のX線回折結果を示している。第5図から分かるように、Fe-C薄膜の厚さが3nm以下の積層膜は、Fe-Cのbcc(110)結晶面の回折ピークは典型的な非結晶質のブロードな形状を示す。

本発明のT-L組成物層7は、その中に含有されるL元素(C, BおよびNの1種または2種以上)濃度が2~20at%、望ましくは4~10at%と

15 される。L元素濃度が2at%未満であると、bcc構造の柱状結晶が基板に対して垂直方向に成長しやすくなり、保磁力が大きくなるとともに、比抵抗が小さくなってしまい、良好な高周波特性を得ることが困難となってしまう。この一方で、このL元素濃度が20at%を超えると、異方性磁界が減少するため共鳴周波数の低下が生じて、高周波用の薄膜として十分に機能することが

20 困難となってしまう。また、TとしてはFeのみよりもFeCoを採用するほうが高い飽和磁化が得られることから望ましい。このときのCoの含有量は、80at%以下の範囲で適宜定めればよいが、20~50at%の範囲で含有させることが望ましい。また、Fe、FeCo以外に本発明に悪影響を与えない範囲で他の元素を含有させることを本願発明は許容する。

25 本発明において、第2の層としてCo系の非結晶質合金を用いるのは、高透磁率であり、かつ高抵抗(比抵抗が100~200 $\mu\Omega\text{cm}$)のために高周波域での渦電流損失が抑制できるからである。また、第2の層が結晶質の材料であると、その上に接する第1の層はその結晶の成長が第2の層の結晶構造に影

響され連続的な柱状構造になってしまうのに対して、第2の層が非結晶質材料であると、第1の層が柱状構造であっても第2の層によってその成長が分断されるため、連続的な柱状構造にならないからである。Co系非結晶質合金層3は、単層膜で透磁率1000以上(10MHz)、飽和磁化10kG(1.0 T)以上、比抵抗 $100\mu\Omega\text{cm}$ 以上の特性を有していることが望ましい。

本発明における第2の層としてのCo系非結晶質合金層3は、Coを主成分とし、B, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の添加元素を含んで形成されており、このものは非結晶質相を主体として構成されている。添加元素の割合(2種以上の場合は総和量)は、通常、5~50at%、好ましくは、10~30at%とされる。添加元素の割合が多くなり過ぎると、飽和磁化が小さくなってしまいうという不都合が生じ、また、添加元素の割合が少なくなり過ぎると、磁歪の制御が困難となり、有効な軟磁気特性が得られなくなるという不都合が生じる。

Co系非結晶質合金層3を構成する好適な組成系の例としては、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, CoZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMoなどが挙げられる。

以上のT-L組成物層7およびCo系非結晶質合金層3を交互に積層することにより、1GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')が400以上で、かつ性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$)が4以上、飽和磁化が14kG(1.4T)以上の高周波用磁性薄膜1を得ることができる。なお、GHz領域(1GHz)で透磁率の実数部(μ')はできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。同様に、飽和磁化についてもできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。

以上の特性を得るためには、T-L組成物層7の厚さを T_1 、Co系非結晶質合金層3の厚さを T_2 とした場合に、 T_1 を3~70nmの範囲とし、かつ

T1/T2は0.15~3.50、好ましくは0.25~2.50とすることが重要である。この値が、3.50を超えると、T-L組成物層7のアスペクト比が大きくなり、異方性磁界および磁化困難軸方向の保磁力(Hch)が急に増大するなどして垂直磁気異方性が発生するために、特に良好な軟磁性特性を得ることができなくなるという不都合が生じてしまう。また、この値が0.15未満となると14kG(1.4T)以上の飽和磁化を得ることができなくなってしまうからである。

また、以上のT-L組成物層7およびCo系非結晶質合金層3を交互に積層することにより、1GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')が500以上で、かつ性能指数Q($Q=\mu'/\mu''$)が10以上、飽和磁化が14kG(1.4T)以上の高周波用磁性薄膜1を得ることもできる。

以上の特性を得るためには、T-L組成物層7の厚さをT1、Co系非結晶質合金層3の厚さをT2とした場合に、T1を0.5~3.0nmの範囲とし、かつT1/T2を0.8~3.0の範囲にすればよい。

T1/T2が、3.0を超えると、FeCの粒子が大きく成長してしまい、130 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上の高い比抵抗が得られなくなってしまう。また、この値が0.8未満となると、高飽和磁化であるT-L組成物層7の割合が少なくなってしまう、共鳴周波数の高周波数化が困難となってしまう。好ましくは1.0以上2.5以下とされる。上記のT1、およびT1/T2を本願発明の範囲内とすることで、比抵抗が130 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上で、かつ1GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')が500以上、性能指数($Q=\mu'/\mu''$)が10以上、飽和磁化が14kG(1.4T)以上という極めて優れた特性を有する複合薄膜の実現が可能となる。なお、このような特性は、前述したように、熱処理等を施さない成膜ままの状態で測定される。

本発明の高周波用磁性薄膜1において、交互に積層されるT-L組成物層7およびCo系非結晶質合金層3の合計積層回数に関する制限はないが、通常、5~3000回、好ましくは10~700回程度とされる。高周波用磁性薄膜1の中で同一種類(T-L組成物層7またはCo系非結晶質合金層3)の膜は、

通常、同じ膜厚となるように形成される。ただし、稀なケースとして、同一種類の膜であっても、積層箇所によって成膜厚さを他の部分と異ならしめることがあり得る。極端な例として、例えば、中間付近のT-L組成物層7の膜厚を20 nm、上下のT-L組成物層7の2層の膜厚をそれぞれ5 nmとするような仕様も場合によってはあり得る。このような場合、算術平均の厚さ(Tf)により算出すればよい。上記例では、算術平均値である $Tf = 10 \text{ nm}$ という数値を採択して、例えば Tf/Tc (Tc はCo系非結晶質合金層3の膜厚の算術平均値)を求めるようにすればよい。また、本発明の高周波用磁性薄膜1は、Co系非結晶質合金層3およびT-L組成物層7以外の層を配設することを許容する。

このような本発明の高周波用磁性薄膜1の厚さは、100～2000 nm、好ましくは300～1000 nmとされる。この値が、100 nm未満であると、平面型磁気素子に応用する場合、所望のパワーを扱うことが困難になると、平面型磁気素子に應用する場合、所望のパワーを扱うことが困難になるという不都合が生じ得る。また、後述の第9図および第10図に示される磁性薄膜を備える有芯コイルの形態としても、空芯コイルに比べてインダクタンスの増加が10%未満となる傾向が生じ、磁性薄膜の効果が十分発揮できないという不都合が生じる。また、この値が、2000 nmを超えると、表皮効果による高周波損失が堅調になり、GHz帯域の損失が増大するという不都合が生じ得る。

本発明の高周波用磁性薄膜1は、真空薄膜形成方法、特にスパッタ法により形成されることが好ましい。より具体的には、RFスパッタ、DCスパッタ、マグネトロンスパッタ、イオンビームスパッタ、誘導結合RFプラズマ支援スパッタ、ECRスパッタ、対向ターゲット式スパッタなどが用いられる。

Co系非結晶質合金層3を形成するためのターゲットとしては、Coターゲット上に、所望の添加元素のペレットを配置した複合ターゲットを用いたり、所望の添加成分を含有するCo合金のターゲットを用いればよい。

T-L組成物層7を形成するためのターゲットとしては、Fe (またはFe-Co合金) ターゲットの上にL元素のペレットを配置した複合ターゲットを用

いるか、Fe（またはFeCo）とL元素の合金ターゲットを用いればよい。
L元素の濃度調整は、例えば、L元素ペレットの量を調整するようにすればよい。

5 なお、スパッタリングはあくまで本発明の一態様であり、他の薄膜作製プロセスを適用できることは言うまでもない。本発明の高周波用磁性薄膜1の具体的な成膜方法については、後述の実施例を参照されたい。

10 本発明の高周波用磁性薄膜1が形成される基板2（第1図）としては、ガラス基板、セラミック材料基板、半導体基板、樹脂基板等が例示できる。セラミック材料としては、アルミナ、ジルコニア、炭化珪素、窒化珪素、窒化アルミニウム、ステアタイト、ムライト、コージライト、フォルステライト、スピネル、フェライトなどが挙げられる。中でも熱伝導率が大きく、曲げ強度も大きい窒化アルミニウムを用いることが好ましい。

15 また本発明の高周波用磁性薄膜1は、上述してきたように極めて優れた高周波特性を有するとともに室温で成膜ままの状態でその性能が発揮できる。そのため、MMICのような半導体プロセスで製作される高周波集積回路に最適な材料である。従って、基板11、基板21および基板31（後述の第7図、第8図および第10図に示される）としては、Si、GaAs、InP、SiGeなどの半導体基板が例示できる。

20 平面型の磁気素子をインダクタに応用した一例が第6図および第7図に示される。第6図は、インダクタの平面図を模式的に示したものであり、第7図は第6図のA-A矢視断面を模式的に示した図面である。

25 これらの図面に示されるインダクタ10は、基板11と、この基板11の両面にスパイラル状に形成された平面コイル12、12と、これらの平面コイル12、12と基板11面を覆うように形成された絶縁膜13、13と、これらの各々の絶縁膜13、13の上を覆うように形成された一対の本発明の高周波用磁性薄膜1とを備えている。そして、上記2つの平面コイル12、12は、基板11の略中央部分に形成されたスルーホール15を介して電氣的に接続されている。さらに、基板11の両面の平面コイル12、12からそれぞれ接続の

ための端子 16 が基板 11 の外方に引き出されている。このようなインダクタ 10 は、一対の高周波用磁性薄膜 1 によって、絶縁膜 13, 13 を介して平面コイル 12, 12 を挟むように構成されているので、接続端子 16, 16 間にインダクタが形成される。

- 5 このように形成されたインダクタは、小型かつ薄型軽量で、特に 1 GHz 以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。

なお上記説明したインダクタ 10 において、平面コイル 12, 12 を並列的に複数設けることによりトランスを形成することができる。

- 本発明の平面型磁気素子をインダクタに応用した他の好適な実施の形態が第 10 8 図に示される。第 8 図は、インダクタの断面を模式的に示したものである。この図に示されるようにインダクタ 20 は、基板 21 と、この基板 21 の上に必要に応じて形成される酸化膜 22 と、この酸化膜 22 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1a と、この高周波用磁性薄膜 1a の上に形成された絶縁膜 23 を備え、さらにこの絶縁膜 23 の上に形成された平面コイル 24 と、
15 これらの平面コイル 24 と絶縁膜 23 を覆うように形成された絶縁膜 25 と、この絶縁膜 25 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1b とを有している。このように形成されたインダクタ 20 もやはり、小型かつ薄型軽量で、特に 1 GHz 以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。そしてこのようなインダクタ 20 において、平面コイル 24 を並列的に複数設けることにより
20 トランスを形成することができる。

- ところで、薄膜インダクタなどの平面型磁気素子においては、それぞれの素子の設計仕様に応じた最適な透磁率を提供することが要望される。高周波帯域における透磁率は、異方性磁界と相関が高く、高周波帯域における透磁率は異方性磁界の逆数に比例する。高周波帯域における高透磁率を実現するためには、
25 磁性薄膜面内で一軸異方性を有することが必要である。また、薄膜インダクタなどの平面型磁気素子では、磁性薄膜の飽和磁化が高いほど直流重畳特性が大きくなる事が期待できる。そのため、飽和磁化の大きさは、高周波用磁性薄膜 1 の設計において重要なパラメータといえる。

本発明の高周波用磁性薄膜 1 を、MMIC 用インダクタとして応用した実施例が第 9 図および第 10 図に示される。

第 9 図はインダクタの導体層部分を抜き出した平面図を模式的に示したものであり、第 9 図は第 10 図の A-A 矢視断面を模式的に示した図面である。

- 5 これらの図面で示されているインダクタ 30 は、第 10 図に示されるように基板 31 と、この基板 31 の上に必要に応じて形成される絶縁酸化膜 32 と、その絶縁酸化膜 32 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1a と、この高周波用磁性薄膜 1a の上に形成された絶縁膜 33 を備え、さらにこの絶縁膜 33 の上に形成されたスパイラルコイル 34 と、このスパイラルコイル 34 と
10 絶縁膜 33 を覆うように形成された絶縁膜 35 と、この絶縁膜 35 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1b とを有している。

- また、スパイラルコイル 34 は、第 9 図に示されるように配線 36 を介して一対の電極 37 に接続されている。そして、スパイラルコイル 34 を囲むように設けられた一対のグラウンドパターン 39 は、それぞれ一対のグラウンド電
15 極 38 に接続され、グラウンド—シグナル—グラウンド (G—S—G) タイプのプロープにより、ウェハ上で周波数特性を評価する形状を有している。

- 本実施の形状にかかる MMIC 用インダクタにおいては、磁芯となる高周波用磁性薄膜 1a、1b でもってスパイラルコイル 34 が挟み込まれた有芯構造を採用している。そのため、スパイラルコイル 34 が同じ形状でありながらも
20 高周波用磁性薄膜 1a、1b が形成されていない空芯構造のインダクタに比べ、インダクタンス値が約 50% 向上される。従って、同じインダクタンス値を得るために必要なスパイラルコイル 34 の占有面積は小さくてもよいことになり、その結果としてスパイラルコイル 34 の小型化が実現できる。

- ところで、MMIC 用インダクタに適用する磁性薄膜の材料としては、GHz
25 z 帯域の高周波数で高透磁率、かつ高い性能指数 Q (低損失) 特性を持つことや、半導体製造プロセスによる集積化が可能であることが求められる。

GHz 帯域の高周波数における高透磁率を実現するためには、共鳴周波数が高く、かつ飽和磁化が大きい材質が有利であり、一軸磁気異方性の制御が必要

である。また、高い性能指数 Q を得るためには、高抵抗化による渦電流損失の抑制が重要である。さらに、集積化プロセスに適用するためには、室温で成膜でき成膜ままの状態で使用できることが望ましい。すでにセッティングされている他のオンチップコンポーネントの性能および作製プロセスに加熱による悪影響を及ぼさないようにするためである。

次に、具体的な実施例を挙げて本発明を更に詳細に説明する。

〔実施例 1〕

以下の成膜手法に従って本発明の高周波用磁性薄膜を作製した。

10 Si ウェハの上に SiO_2 を 100 nm の厚さに成膜したものを基板として用いた。

対向ターゲット式スパッタ装置を用いて、下記の要領で基板上に高周波用磁性薄膜を成膜 (deposit) させた。すなわち、対向ターゲット式スパッタ装置内を $8 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ まで予備排気した後、圧力が 10 Pa になるまで Ar ガスを導入した後、 100 W の RF パワーで 10 分間、基板表面をスパッタエッチングした。

次いで、圧力が 0.4 Pa になるように Ar ガスの流量を調整し、 300 W のパワーで $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ ターゲット、および Fe ターゲット上に C (炭素) ペレットを配置した複合ターゲットを、順次交互に繰り返しスパッタリングして後述する仕様からなる高周波用磁性薄膜としての複合磁性薄膜を成膜 (deposit) させた。

成膜時には基板に $-40 \sim -80 \text{ V}$ の DC バイアスを印加した。また、ターゲット表面の不純物の影響を防止するためにシャッターを閉めた状態で 10 分以上プリスパッタリングを行った。その後、シャッターを開けることにより基板上に成膜を行った。成膜速度 (rate) は、 CoZrNb 層の成膜時で 0.33 nm/秒 、 Fe-C 層の成膜時で 0.27 nm/秒 とした。シャッターの開閉時間を制御することで交互に積層される各層の膜厚を調整した。基板上の第

1層目としてCoZrNb層を成膜した後、その上にFe-C層を形成し、以下順次CoZrNb層とFe-C層とを交互に積層した。

このような成膜手法に基づき、厚さ20nmのCoZrNb層と、厚さ5nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に20回ずつ順次積層して総
5 膜厚500nm（合計40層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例1）を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層は前述した非結晶質構造部分とその上に形成される柱状構造部分とから構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が1.4以下であることを確認した。また、CoZrNb層は非
10 結晶質であることが確認された。

成膜後に測定された磁化曲線を第11図に示した。第11図に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化として14.7kG（1.47T）、異方性磁界として450e（3580.99A/M）、磁化容易軸の保磁力として1.10e（87.53A
15 /m）が得られた。

さらに、この複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を第12図に示した。第12図に示されるグラフより、共鳴周波数は測定限界の2GHzを超えており、GHz領域で透磁率の実数部（ μ' ）が400以上であることが分かる。また性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）は1GHzでは13の値が得られ、2GHzでは
20 2以上の値が得られていることが分かる。なお、高周波透磁率の測定は薄膜高周波透磁率測定装置（成瀬科学器機、PHF-F1000）を用い、磁気特性は振動試料型磁力計（理研電子、BHV-35）を用いて測定した。

〔実施例2〕

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ20nmのCoZrNb層と、厚さ
25 20nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に13層ずつ順次積層して総膜厚520nm（合計26層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例2）を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層は主に柱状結晶粒から構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が1.4以下であることを確認した。また、CoZrNb層は非結晶質であることが確認された。また、CoZrNb層は非結晶質であることが確認された。

5 成膜後に測定された磁化曲線を第13図に示した。第13図に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化として16.3 kG (1.63 T)、異方性磁界として44 Oe (3501.41 A/m)、磁化容易軸の保磁力として1.2 Oe (95.49 A/m) が得られた。

10 また、この複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を第14図に示した。第14図に示されるグラフによれば、透磁率の実数部 (μ') が1 GHzでは540の値が得られ、1.5 GHzでは670の値が得られていることが分かる。また性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は1 GHzでは4.7の値が得られており、1.5 GHzでは2以上の値が得られていることが分かる。

15 [実施例3]

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ20 nmのCoZrNb層と、厚さ50 nmのFe-C層 (炭素濃度: 5 at%) とを交互に7層ずつ順次積層して総膜厚490 nm (合計14層) の本発明の複合磁性薄膜 (実施例3) を形成した。

20 複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層は主に柱状結晶粒から構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が1.4以下であることを確認した。また、CoZrNb層は非結晶質であることが確認された。

成膜後に測定された磁化曲線を第15図に示した。第15図に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、
25 飽和磁化として16.7 kG (1.67 T)、異方性磁界として48 Oe (3819.72 A/m)、磁化容易軸の保磁力として1.6 Oe (127.32 A/m) が得られた。

また、この複合磁性薄膜の高周波透磁率特性を第16図に示した。第16図に示されるグラフから、GHz領域で透磁率の実数部 (μ') が500以上であることが分かる。また性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は1GHzでは6以上の値が得られ、2GHzでは2以上の値が得られていることが分かる。

5 〔実施例4〕

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ20nmのCoZrNb層と、厚さ2nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に20層ずつ順次積層して総膜厚440nm（合計40層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例4）を形成した。

10 複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

上記の実施例に準じた方法によって、複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、12.5kG（1.25T）の飽和磁化、200e（1591.55A/m）の異方性磁界、1.10e（87.53A/m）の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

15

また、1GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は900であり、1GHzでの性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は1.3の値が得られた。

〔実施例5〕

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ20nmのCoZrNb層と、厚さ80nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に7層ずつ順次積層して総膜厚700nm（合計14層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例5）を形成した。

この複合磁性薄膜の透過型電子顕微鏡による断面像を第17図に示すが、Fe-C層は主に柱状結晶粒から構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が1.4以下であることを確認した。

25

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、18.0kG（1.80T）の飽和磁化、920e（7321.13A

/m) の異方性磁界、2. 8 Oe (222. 82 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は200であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は8の値が得られた。

5 [実施例6]

上記実施例1において、Fe-C層の炭素濃度を5 at%から7 at%に変えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、本発明の複合磁性薄膜(実施例6)を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14. 7 kG (1. 47 T) の飽和磁化、420 Oe (3342. 25 A/m) の異方性磁界、1. 0 Oe (79. 58 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は410であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は14の値が得られた。

15 [実施例7]

上記実施例1において、Fe-C層の炭素濃度を5 at%から10 at%に変えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、本発明の複合磁性薄膜(実施例7)を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14. 5 kG (1. 45 T) の飽和磁化、400 Oe (3183. 10 A/m) の異方性磁界、1. 0 Oe (79. 58 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は490であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は11の値が得られた。

25 [比較例1]

上記実施例1において、Fe-C層をFe層に変えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、比較例の複合磁性薄膜(比較例1)を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 17.6 kG (1.76 T) の飽和磁化、 280 e (2228.24 A/m) の異方性磁界、 18.0 Oe (1432.44 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

- 5 また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 120 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 4 の値が得られた。

〔実施例 8〕

- 上記実施例 1 において、 Co 系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{89}\text{Zr}_6\text{Ta}_5$ に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜 (実施例 8) を形成した。
- 10

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 14.9 kG (1.49 T) の飽和磁化、 440 e (3501.44 A/m) の異方性磁界、 1.10 e (87.53 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

- 15 また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 455 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 11 の値が得られた。

〔実施例 9〕

- 上記実施例 1 において、 Co 系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{80}\text{Fe}_9\text{Zr}_3\text{B}_8$ に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜 (実施例 9) を形成した。
- 20

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、 14.7 kG (1.47 T) の飽和磁化、 480 e (3919.72 A/m) の異方性磁界、 1.20 e (95.49 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

- 25 また、 1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 410 であり、 1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 12 の値が得られた。

〔比較例 2〕

上記実施例 1 において、厚さ 500 nm の複合磁性薄膜を、厚さ 500 nm の $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ の単層膜に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、比較例の複合磁性薄膜（比較例 2）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、11.5 kG (1.15 T) の飽和磁化、150 e (1193.66 A/m) の異方性磁界、0.80 e (63.66 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 1091 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 1 の値が得られた。

10 [比較例 3]

上記実施例 1 において、厚さ 500 nm の複合磁性薄膜を、厚さ 1000 nm の $\text{Co}_{89}\text{Zr}_6\text{Ta}_5$ の単層膜に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、比較例の複合磁性薄膜（比較例 3）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、13.0 kG (1.30 T) の飽和磁化、160 e (1273.24 A/m) の異方性磁界、0.90 e (71.62 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 325 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 0.5 の値が得られた。

20 [比較例 4]

上記実施例 1 において、厚さ 500 nm の複合磁性薄膜を、厚さ 1000 nm の $\text{Co}_{79}\text{Fe}_9\text{Zr}_2\text{Ta}_{10}$ の単層膜に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、比較例の複合磁性薄膜（比較例 4）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、11.0 kG (1.10 T) の飽和磁化、360 e (2864.79 A/m) の異方性磁界、1.10 e (87.53 A/m) の磁化容易軸の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は327であり、1 GHzでの性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は1.7の値が得られた。

実施例1～9、比較例1～4で作製した磁性薄膜の磁気特性等を第24図にまとめて示した。

- 5 第24図に示すように、本発明による各実施例は、1.2 T以上の飽和磁化、1.5 GHz以上の共鳴周波数、1.0以上のQ値を得ることが可能である。この中で、T1が3～70 nmの範囲、かつT1/T2が0.15～3.50の範囲にある実施例1～3、6、7、8および9は1.4 T以上の飽和磁化、2.0 GHz以上の共鳴周波数、4.0以上のQ値を得ることができる。

10 [実施例10]

- Siウェハの上にSiO₂の厚さを500 nmの厚さに成膜したものを基板とした以外実施例1と同様にして厚さ1.0 nmのCoZrNb層と、厚さ1.0 nmのFe-C層（炭素濃度：5 at%）とを交互に250回ずつ順次積層して総膜厚500 nm（合計500層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例10）
15 を形成した。なお、成膜中に基板温度の制御は行っていないが、基板温度は総膜厚が500 nmになるまで成膜する間に30℃まで上昇した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

- 成膜後に測定された磁化曲線を第18図に示した。第18図に示される磁化
20 曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化は14.3 kG（1.43 T）、磁化容易軸方向の保磁力は0.6 Oe（47.75 A/m）、磁化困難軸方向の保磁力は0.8 Oe（63.66 A/m）が得られた。さらに、この実施例の積層膜の高周波透磁率特性を第19図に示した。第19図に示されるグラフより、共鳴周波数は測定限界の2 G
25 Hzを超えており、GHz領域で透磁率の実数部 (μ') が500以上であることが分かる。また、性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は1 GHzでは15の値が得られ、2 GHzでは7の値が得られていることが分かる。

[実施例11]

上記実施例 10 の成膜手法に基づき、厚さ 1.5 nm の CoZrNb 層と、厚さ 1.5 nm の Fe-C 層（炭素濃度：5 at%）とを交互に 170 層ずつ順次積層して総膜厚 510 nm（合計 340 層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例 11）を形成した。

- 5 複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C 層および CoZrNb 層ともに非結晶質であることが確認された。

成膜後に測定された磁化曲線を第 20 図に示した。第 20 図に示される磁化曲線から求めた磁気特性として、飽和磁化は 15.5 kG（1.55 T）、磁化容易軸方向の保磁力は 0.6 Oe（47.75 A/m）、磁化困難軸方向の保磁力は 0.8 Oe（63.66 A/m）であった。また、この実施例の積層膜の高周波透磁率特性を第 21 図に示した。第 21 図に示されるグラフより、透磁率の実数部（ μ' ）の値として、1.0 GHz では 720 の値が得られ、1.5 GHz では 1055 の値が得られていることが分かる。また、性能指数 Q （ $Q = \mu' / \mu''$ ）の値として、1.0 GHz では 13 の値が得られ、1.5 GHz では 5 の値が得られていることが分かる。

10
15

〔実施例 12〕

上記実施例 10 の成膜手法に基づき、厚さ 1.0 nm の CoZrNb 層と、厚さ 2.0 nm の Fe-C 層（炭素濃度：5 at%）とを交互に 170 層ずつ順次積層して総膜厚 510 nm（合計 340 層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例 12）を形成した。

20

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C 層および CoZrNb 層ともに非結晶質であることが確認された。

成膜後に測定された磁化曲線を第 22 図に示した。第 22 図に示される磁化曲線から求めた磁気特性として、飽和磁化は 14.8 kG（1.48 T）、磁化容易軸方向の保磁力は 0.7 Oe（55.70 A/m）、磁化困難軸方向の保磁力は 1.0 Oe（79.58 A/m）であった。

25

また、この実施例の積層膜の高周波透磁率特性を第 23 図に示した。第 23 図に示されるグラフより、共鳴周波数は測定限界の 2 GHz を超えており、G

H z 領域で透磁率の実数部 (μ') が 500 以上であることが分かる。また、性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) の値として、1.0 GHz では 2.4 の値が得られ、1.5 GHz では 8.5 の値が得られ、2 GHz では 3 の値が得られていることが分かる。

5 〔実施例 13〕

上記実施例 10 の成膜手法に基づき、厚さ 1.0 nm の CoZrNb 層と、厚さ 2.8 nm の Fe-C 層 (炭素濃度: 5 at%) とを交互に 135 層ずつ順次積層して総膜厚 513 nm (合計 270 層) の本発明の複合磁性薄膜 (実施例 13) を形成した。

- 10 複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C 層および CoZrNb 層ともに非結晶質であることが確認された。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.0 kG (1.50 T) の飽和磁化、0.8 Oe (63.66 A/m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.9 Oe (71.62 A/m) の磁化困難

- 15 軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 550 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 2.2 の値が得られた。

 〔実施例 14〕

- 20 上記実施例 1 の成膜手法に基づき、厚さ 0.8 nm の CoZrNb 層と、厚さ 2.8 nm の Fe-C 層 (炭素濃度: 5 at%) とを交互に 140 層ずつ順次積層して総膜厚 504 nm (合計 280 層) の本発明の複合磁性薄膜 (実施例 14) を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C 層および CoZrNb 層ともに非結晶質であることが確認された。

- 25 上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.8 kG (1.58 T) の飽和磁化、0.9 Oe (71.62 A/m) の磁化容易軸方向の保磁力、1.1 Oe (87.54 A/m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は400であり、1 GHzでの性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は16の値が得られた。

〔実施例15〕

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ2.0 nmのCoZrNb層と、厚さ1.0 nmのFe-C層（炭素濃度：5 at%）とを交互に170層ずつ順次積層して総膜厚510 nm（合計340層）の本発明の複合磁性薄膜（実施例15）を形成した。

複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C層およびCoZrNb層ともに非結晶質であることが確認された。

10 上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、13.9 kG (1.39 T) の飽和磁化、0.6 Oe (47.75 A/m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe (55.70 A/m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は755であり、1 GHzでの性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は6の値が得られた。

〔比較例5〕

上記実施例10において、Fe-C層をFe層に変えた。それ以外は、上記実施例10と同様にして、比較例の複合磁性薄膜（比較例5）を形成した。

20 上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、20.7 kG (2.07 T) の飽和磁化、4.2 Oeの磁化容易軸方向の保磁力 (334.23 A/m)、19.0 Oe (1511.97 A/m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は150であるが、透磁率の値が小さいため μ'' の実測値には信頼性がなく、性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は求められなかった。

〔実施例16〕

上記実施例 10 において、Fe-C 層の炭素濃度を 5 at % から 7 at % に変えた。それ以外は、上記実施例 10 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 16）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.1 kG (1.41 T) の飽和磁化、0.6 Oe (47.75 A/m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe (55.76 A/m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 600 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 12 の値が得られた。

10 [実施例 17]

上記実施例 10 において、Fe-C 層の炭素濃度を 5 at % から 10 at % に変えた。それ以外は、上記実施例 10 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 17）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.0 kG (1.40 T) の飽和磁化、0.6 Oe (47.75 A/m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe (55.76 A/m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は 750 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は 12 の値が得られた。

20 [実施例 18]

上記実施例 10 において、Co 系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{89}\text{Zr}_6\text{Ta}_5$ に変えた。それ以外は、上記実施例 10 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 18）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.4 kG (1.44 T) の飽和磁化、0.6 Oe (47.75 A/m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe (55.76 A/m) の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は520であり、1 GHzでの性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は15の値が得られた。

〔実施例19〕

上記実施例10において、Co系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{80}\text{Fe}_9\text{Zr}_3\text{B}_8$ に変えた。それ以外は、上記実施例10と同様にし

て、本発明の複合磁性薄膜（実施例19）を形成した。

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.0 kG (1.50 T) の飽和磁化、0.6 Oe (47.75 A/m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe (55.76 A/m) の磁化困難

軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

また、1 GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は530であり、1 GHzでの性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は17の値が得られた。

実施例10～19、比較例5で作製した磁性薄膜の磁気特性等を第25図にまとめて示した。

第25図に示すように、本発明による各実施例は、1.4 T以上の飽和磁化、1.5 GHz以上の共鳴周波数、5.0以上のQ値を得ることが可能である。この中で、T1が0.5～3.0 nmの範囲、かつT1/T2が0.8～3.0の範囲にある実施例10～13、16、17、18および19は1.4 T以上の飽和磁化、2.0 GHz以上の共鳴周波数、10.0以上のQ値を得ることができる。

〔実施例20～27〕

薄膜形成用のターゲットを以下のものとする以外は実施例1と同様にして、第26図に示す磁性薄膜を形成するとともに、その磁気特性等の物性値を測定した。その結果を第26図にあわせて示す。

磁性薄膜がFe-C-O-C膜を含むものは、 $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ターゲット上にC (炭素) ペレットを配置した複合ターゲットを用いた。また、Fe-B膜を含むものは Fe_{95}B_5 合金ターゲットを、また、Fe-C-O-B膜を含むものは $\text{Fe}_{65}\text{Co}_{30}\text{B}_5$ 合金ターゲットを用いた。Fe-C-B-N膜を含むものは

Feターゲット上にCペレットを配置した複合ターゲットを用いたスパッタリング中にN（窒素）ガスを導入し、また、FeCo-C₅-N₅膜を含むものはFe₇₀Co₃₀ターゲットの上にCペレットを配置した複合ターゲットを用いたスパッタリング中にN（窒素）ガス導入することで作製した。

- 5 第26図の実施例20に示すように、第1の膜をFe-C₅膜とすることにより、Fe-C₅膜を第1の膜とする実施例1に比べて、飽和磁化および透磁率の実数部が向上することがわかる。

また、第26図の実施例21～25から、第1の膜にはCのみならずBおよび／またはNを適用できることがわかる。

- 10 さらに、第26図の実施例20、26および27を比較すると、特に優れた特性を得るためには、T₁およびT₁/T₂を規制することが重要であることがわかる。

産業上の利用可能性

- 15 以上詳述したように、本発明によれば、高い飽和磁化を有するとともに、GHzの高周波帯域で高い透磁率および性能指数Qを示す高周波用磁性薄膜を得ることができる。

請 求 の 範 囲

1. T-L組成物（ただし、 $T = \text{Fe}$ または FeCo 、 $L = \text{C}$ 、BおよびNの1種または2種以上）からなる第1の層と、
- 5 前記第1の層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層と、を含むことを特徴とする高周波用磁性薄膜。
2. 複数の前記第1の層と複数の前記第2の層とが積層されて多層膜構造をなすことを特徴とする請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。
- 10 3. 1GHzにおける複素透磁率の実数部（ μ' ）が400以上で、かつ性能指数 Q （ $Q = \mu' / \mu''$ ）が4以上、飽和磁化が14kG（1.4T）以上であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の高周波用磁性薄膜。
- 15 4. 前記第1の層の厚さを T_1 、前記第2の層の厚さを T_2 とした場合に、 T_1 が3～70nmの範囲内あり、かつ T_1 / T_2 が0.15～3.50の範囲にあることを特徴とする請求項3に記載の高周波用磁性薄膜。
- 20 5. 1GHzにおける複素透磁率の実数部（ μ' ）が500以上で、かつ性能指数 Q （ $Q = \mu' / \mu''$ ）が10以上、飽和磁化が14kG（1.4T）以上であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の高周波用磁性薄膜。
- 25 6. 前記第1の層の厚さを T_1 、前記第2の層の厚さを T_2 とした場合に、前記第1の層の厚さ T_1 が0.5～3.0nmの範囲にあり、かつ T_1 / T_2 が0.8～3.0の範囲にあることを特徴とする請求項5に記載の高周波用磁性薄膜。

7. 前記第2の層は、Coを主成分とし、B, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の添加元素を含むことを特徴とする請求項1～6に記載の高周波用磁性薄膜。

5

8. 前記第2の層は、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, CoZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMoから選択されることを特徴とする請求項1～

10

9. 前記第1の層は、その中に含有されるL元素の濃度が2～20at%であることを特徴とする請求項1～8のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。

15

10. FeまたはFeCoを主成分とし、単層膜で飽和磁化が16kG (1.6T) 以上の特性を有し、かつアスペクト比が1.4以下の柱状構造または非結晶質構造からなる第1の層と、

Coを主成分とし、単層膜で透磁率が1000以上 (測定周波数: 10MHz)、飽和磁化が10kG (1.0T) 以上、比抵抗が100 $\mu\Omega$ cm以上の

20

特性を有する第2の層とが交互に積層していることを特徴とする複合磁性薄膜。

11. 高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、

前記高周波用磁性薄膜は、T-L組成物 (ただし、T=FeまたはFeCo、L=C, BおよびNの1種または2種以上) からなる第1の層と、前記第1の

25

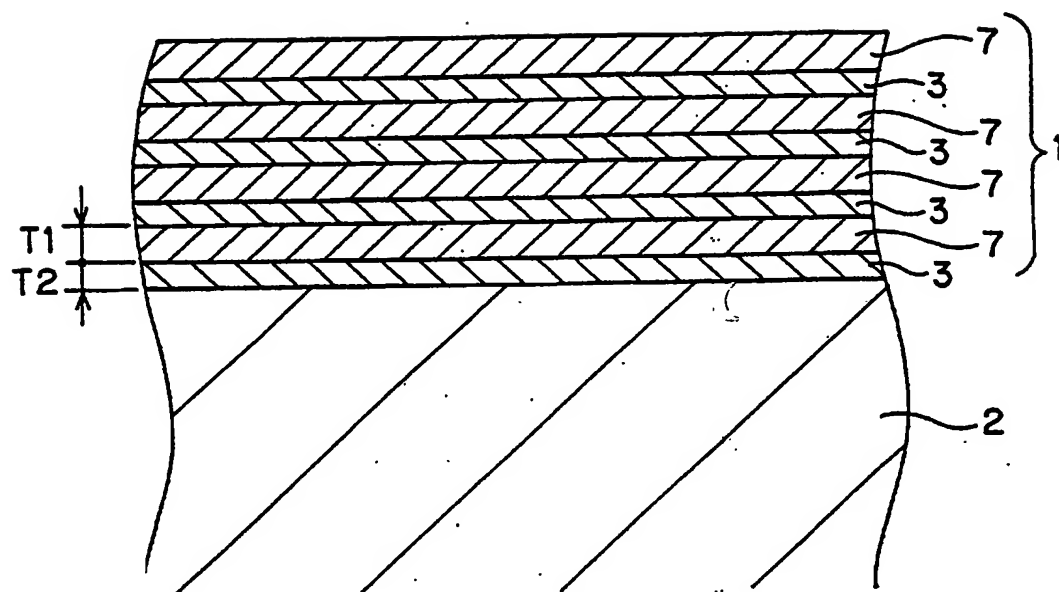
層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層とが交互に積層された多層膜であることを特徴とする磁気素子。

1 2. 前記磁気素子が、コイルを挟持するように対向配置された前記高周波用磁性薄膜を有することを特徴とする請求項 1 1 に記載の磁気素子。

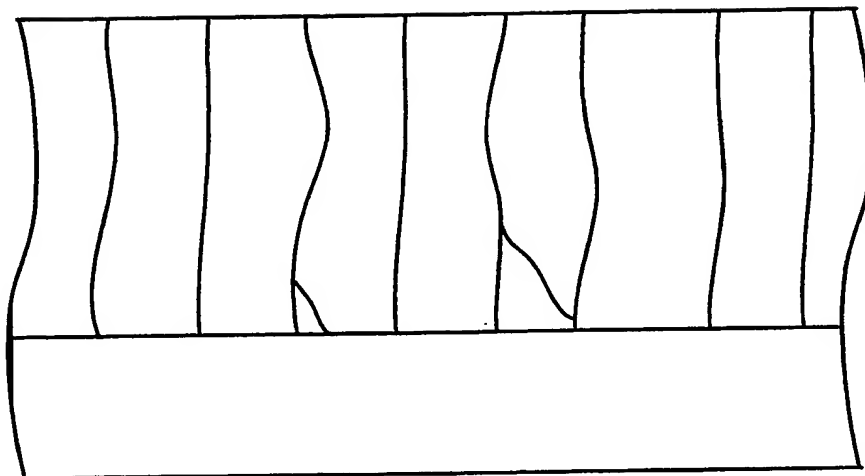
1 3. 前記磁気素子が、インダクタまたはトランスであることを特徴とする請求項 1 2 に記載の磁気素子。

1 4. 前記磁気素子が、モノリシックマイクロ波集積回路に用いられるインダクタであることを特徴とする請求項 1 2 に記載の磁気素子。

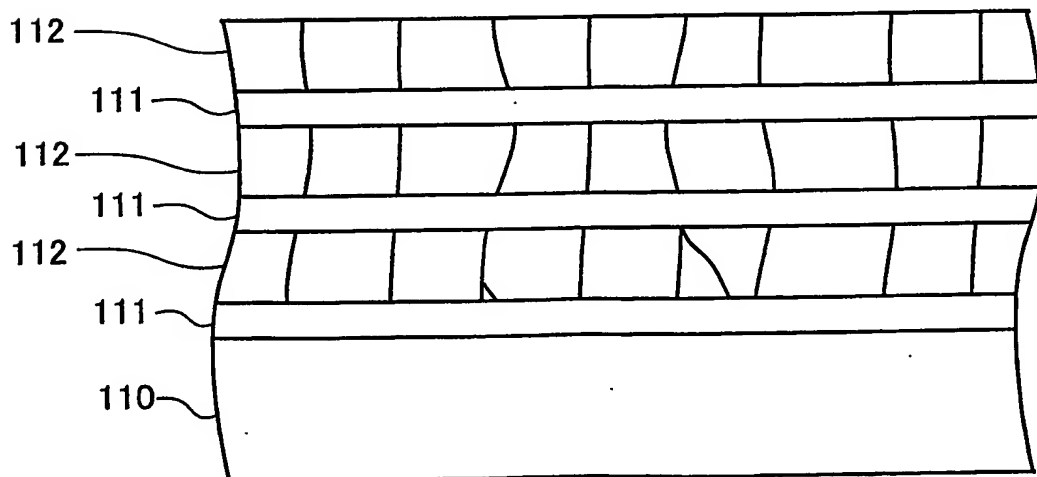
第 1 図



第 2 図

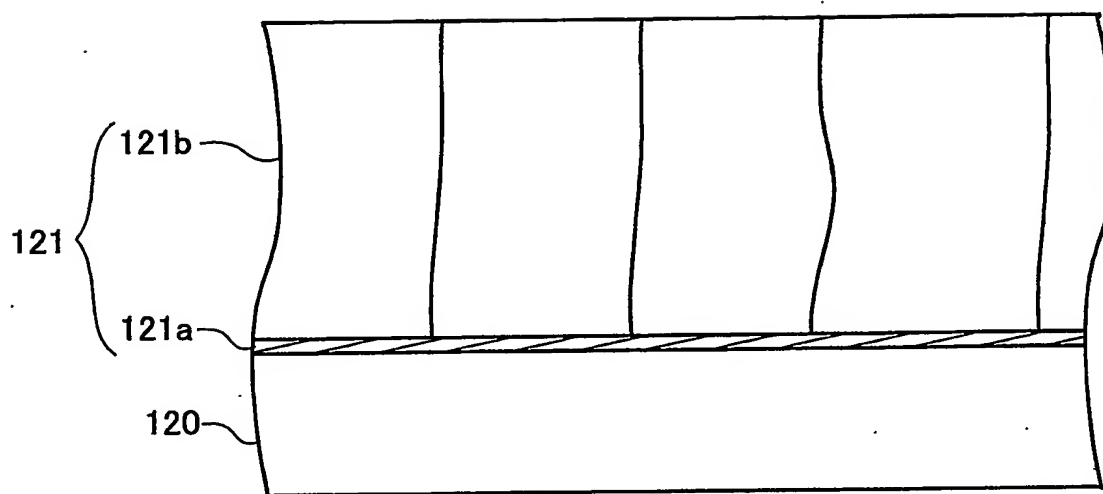


第 3 図



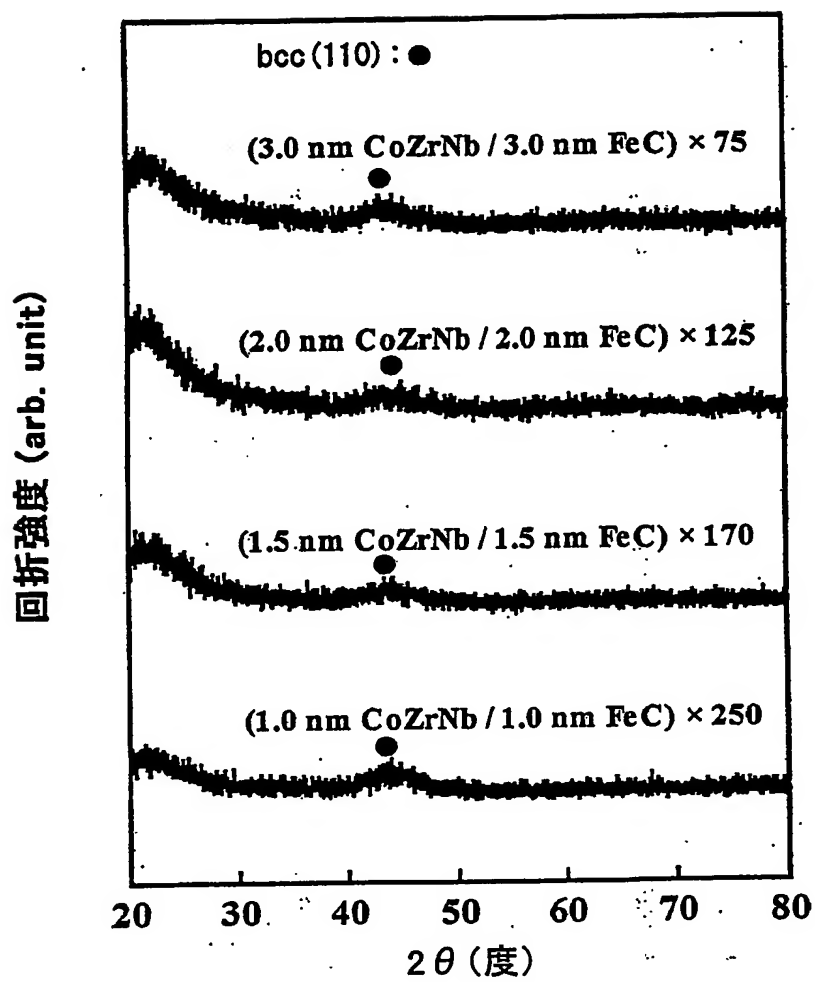
3/18

第 4 図



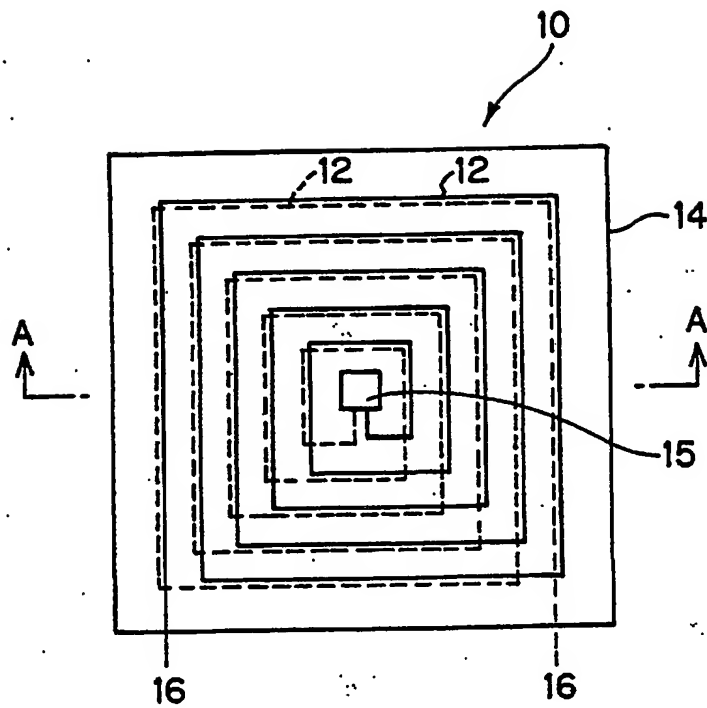
4/18

第 5 図

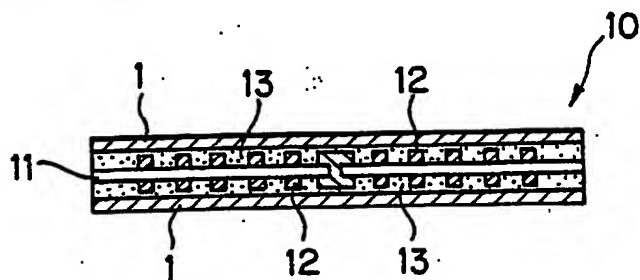


5/18

第 6 図

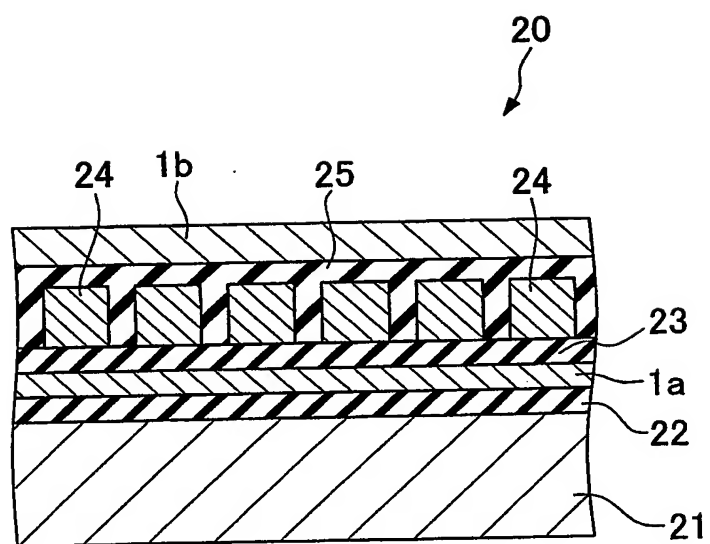


第 7 図



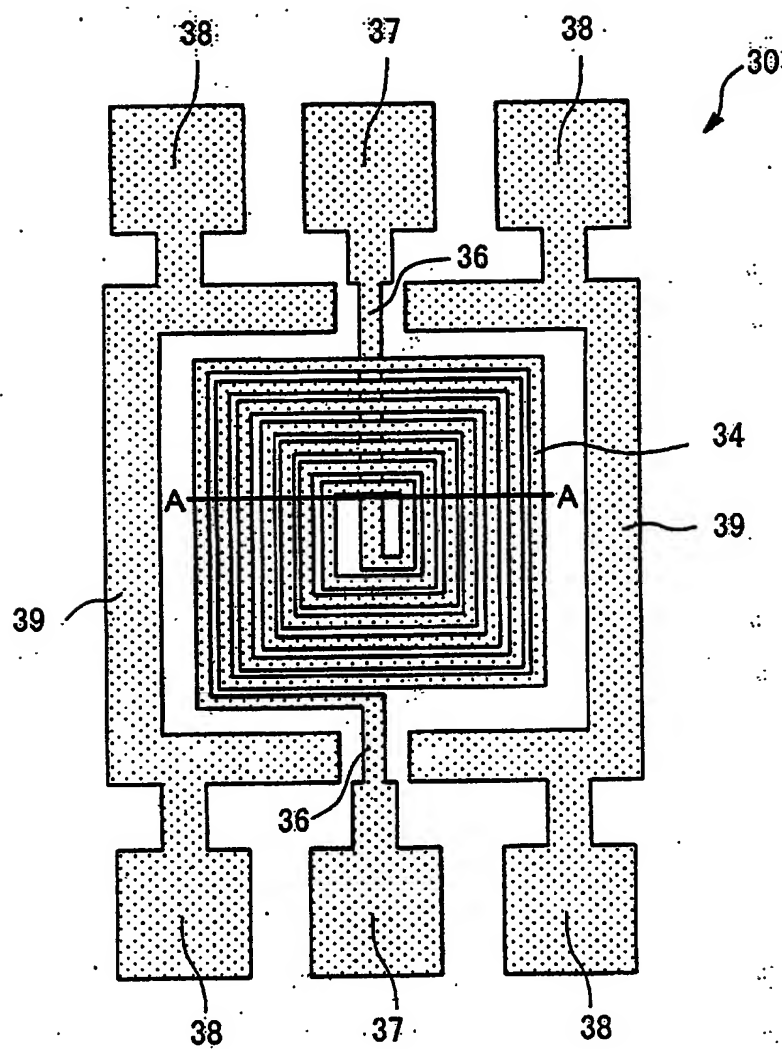
6/18

第 8 図

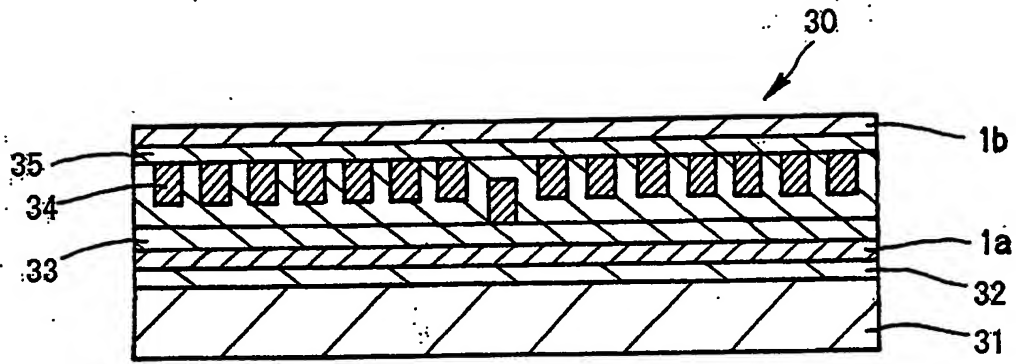


7/18

第 9 図

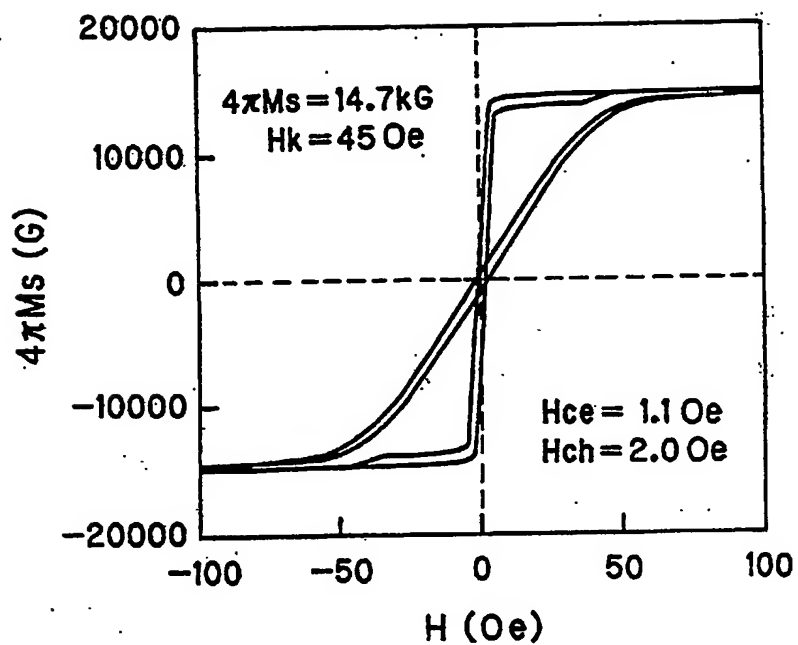


第 10 図

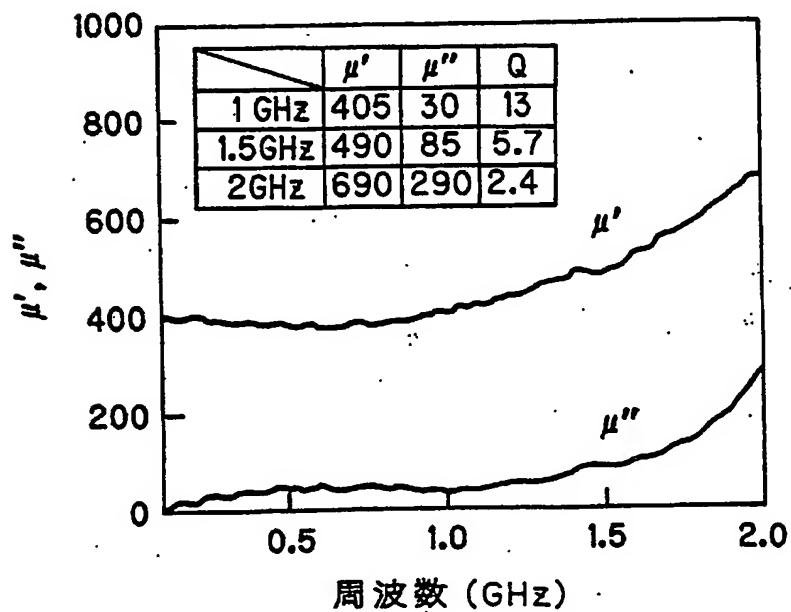


9/18

第 11 図

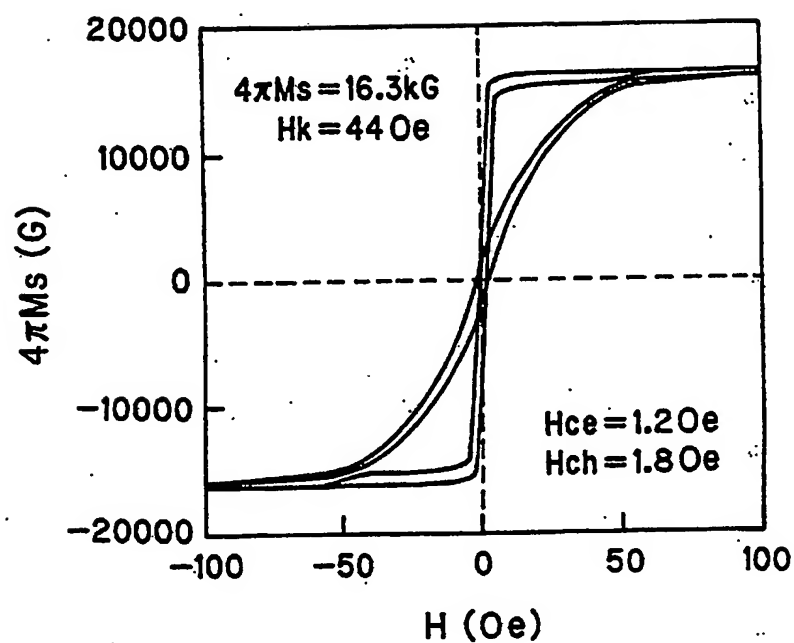


第 12 図

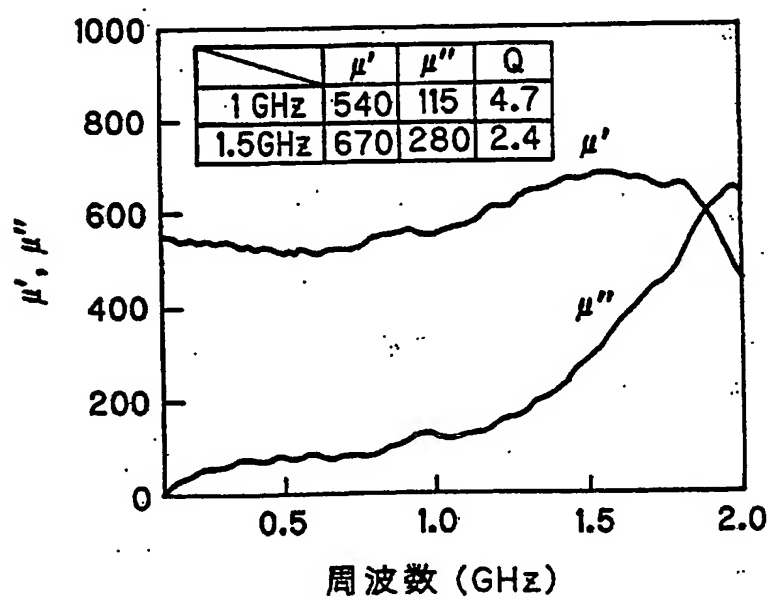


10/18

第 13 图

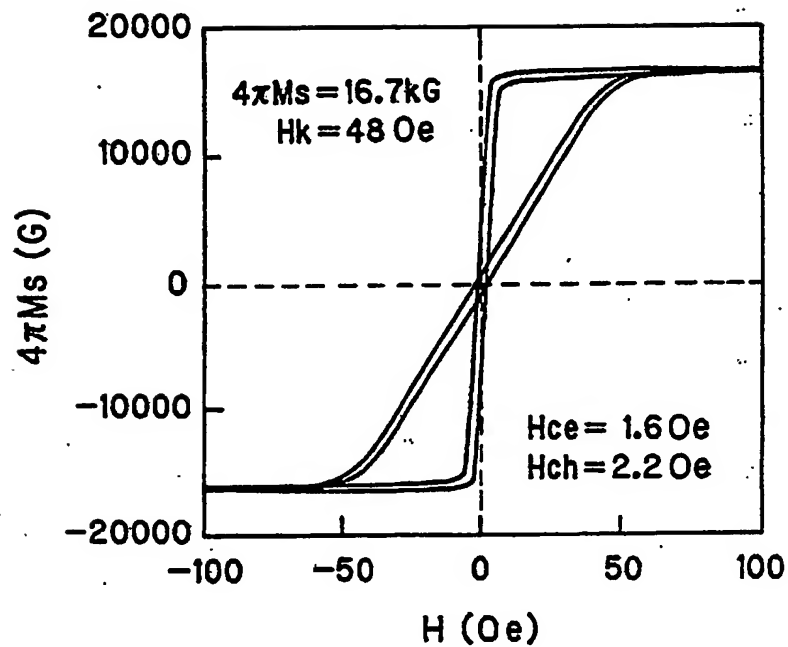


第 14 图

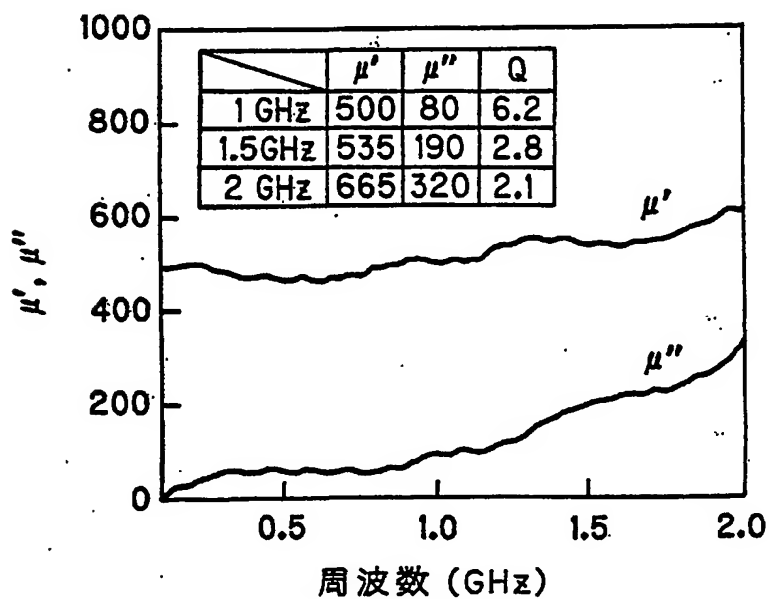


11/18

第 15 图

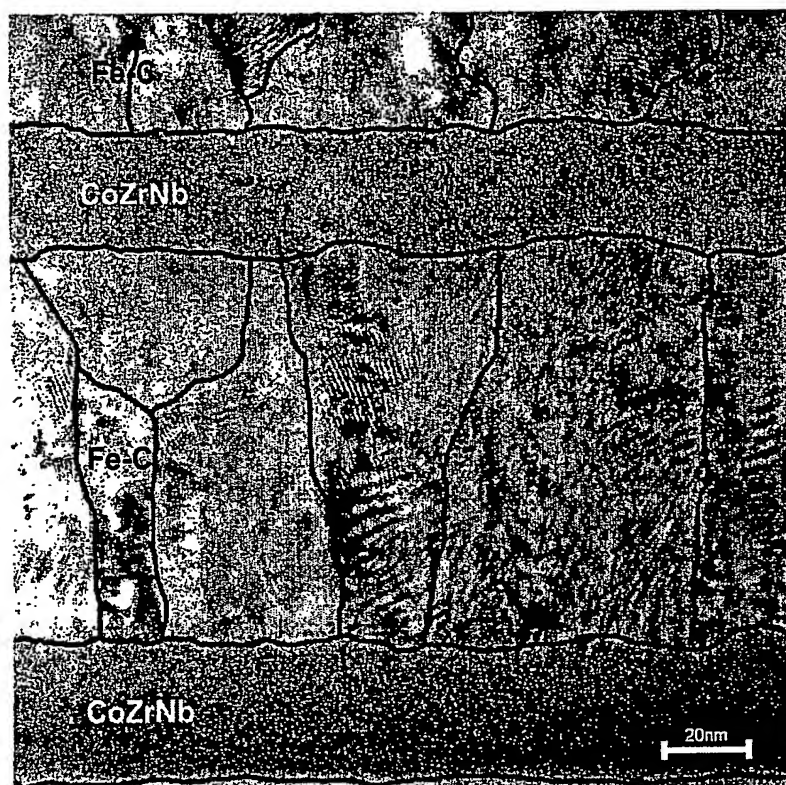


第 16 图



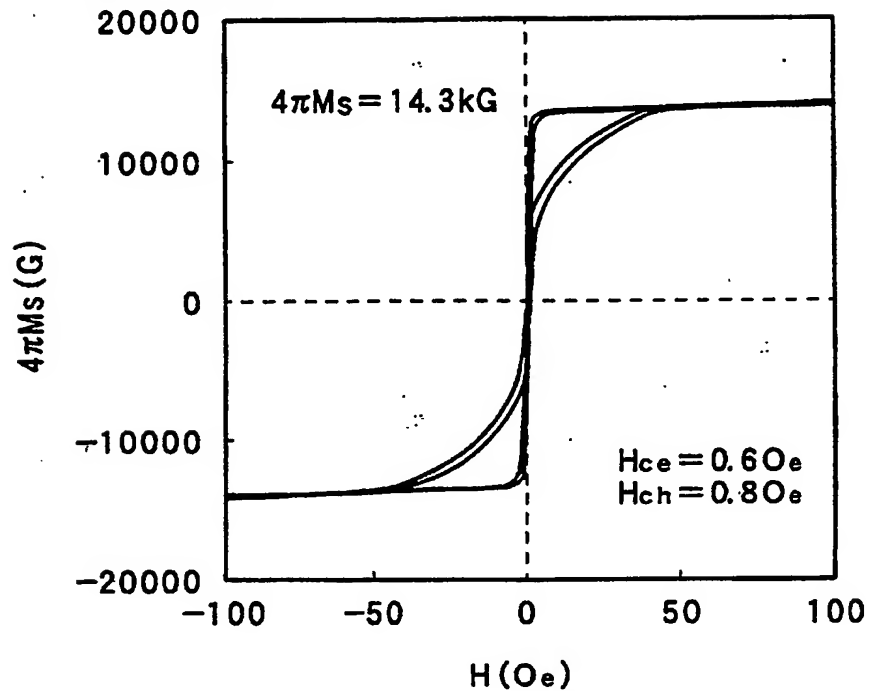
12/18

第 17 図

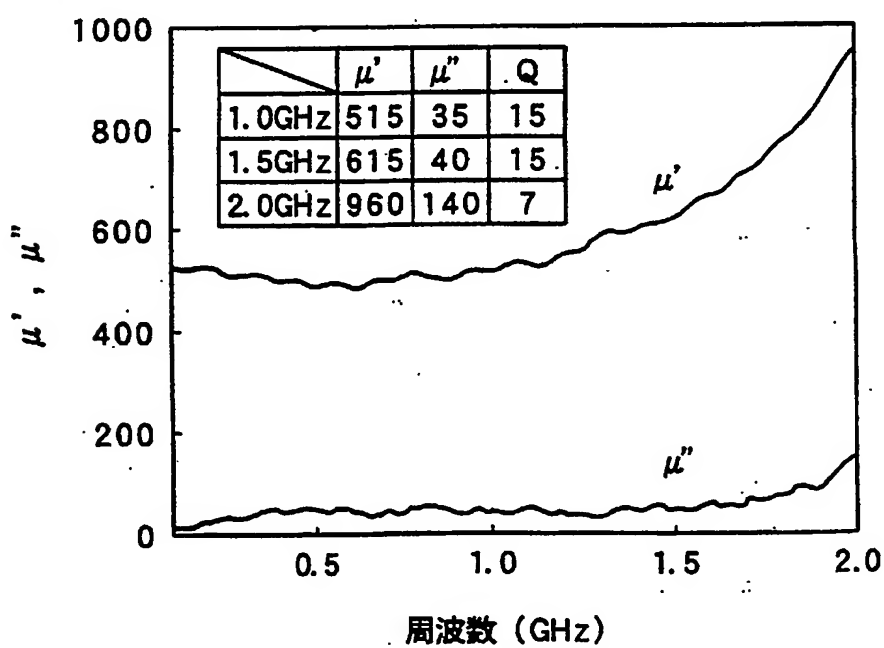


13/18

第 18 図

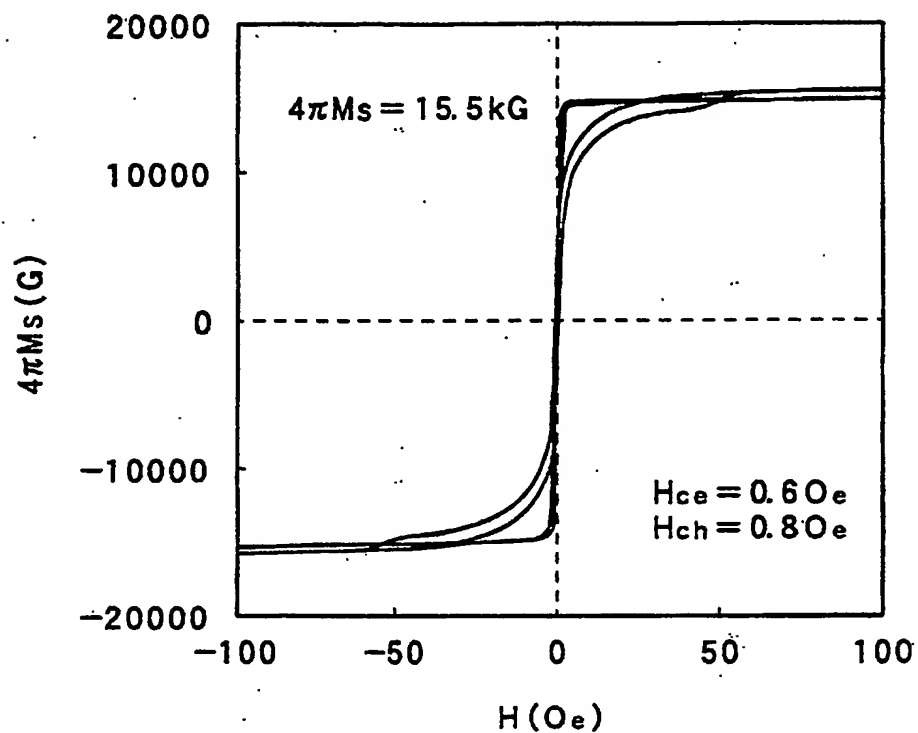


第 19 図

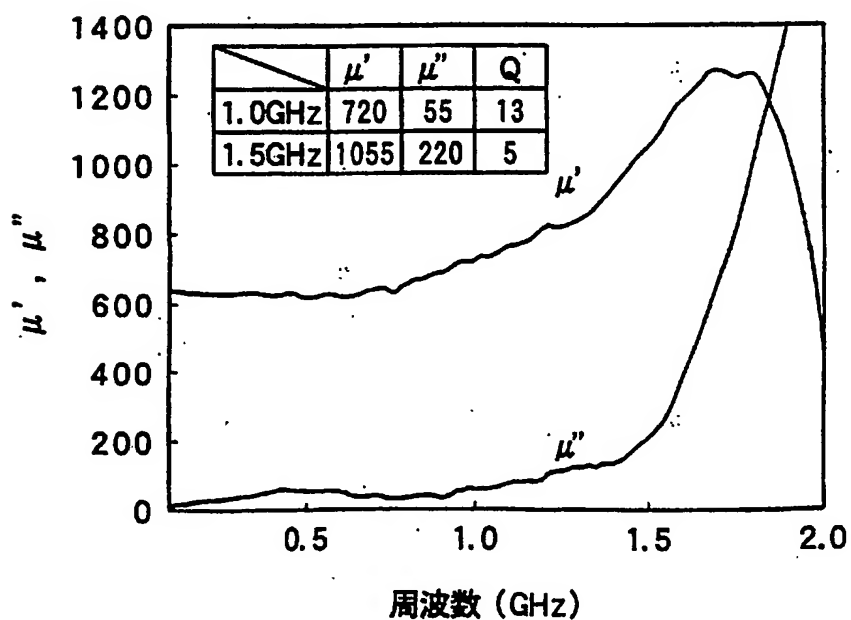


14/18

第 20 図

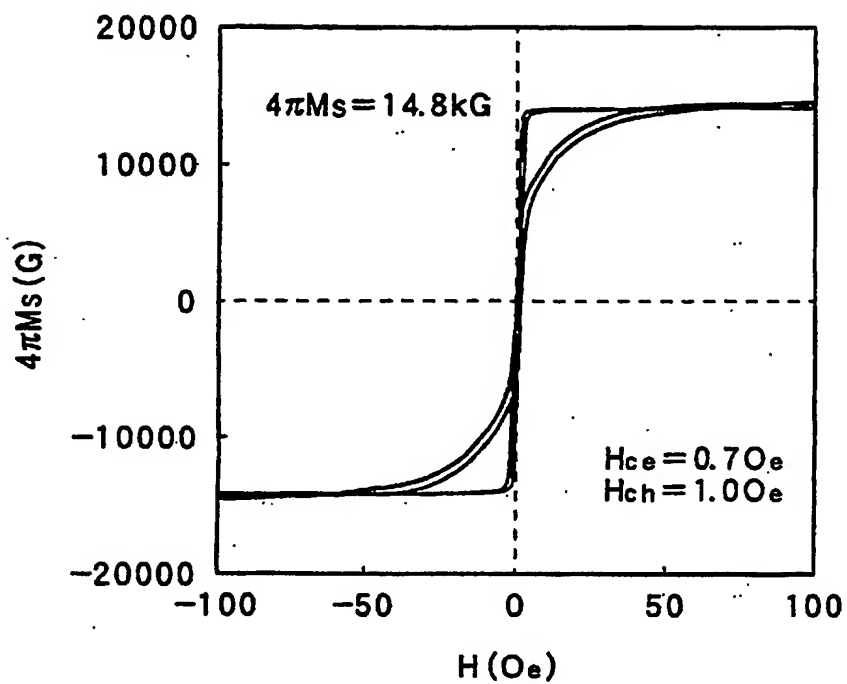


第 21 図

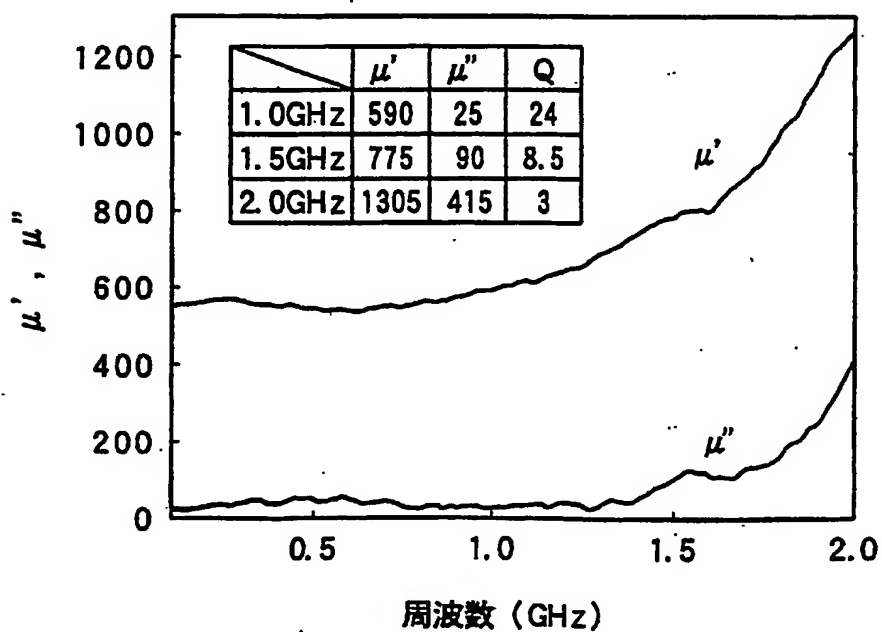


15/18

第 22 图



第 23 图



16/18

图 24

	磁性薄膜構成	T1 (nm)	T1/T2	飽和磁化 (T)	異方性磁界 (Oe)	共振 周波数(GHz)	μ' (at 1GHz)	μ'' (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	比抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	保磁力 Hce(Oe)
実施例 1	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₅) x 20	5	0.25	1.47	45	>>2.0	405	30	13	90	1.1
実施例 2	(20nm CoZrNb/20nm Fe-C ₅) x 13	20	1.00	1.63	44	>>2.0	540	115	4.7	60	1.2
実施例 3	(20nm CoZrNb/50nm Fe-C ₅) x 7	50	2.50	1.67	48	>>2.0	500	80	6.2	50	1.6
実施例 4	(20nm CoZrNb/2nm Fe-C ₅) x 20	2	0.10	1.25	20	1.5	900	700	1.3	100	1.1
実施例 5	(20nm CoZrNb/80nm Fe-C ₅) x 20	80	4.00	1.80	92	>>2.0	200	25	8	48	2.8
実施例 6	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₇) x 20	5	0.25	1.47	42	>>2.0	410	30	14	90	1.0
実施例 7	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₁₀) x 20	5	0.25	1.45	40	>>2.0	490	45	11	88	1.0
比較例 1	(20nm CoZrNb/50nm Fe) x 20	—	—	1.76	28	1.8	120	30	4	42	18.0
実施例 8	(20nm CoZrTa/5nm Fe-C ₅) x 20	5	0.25	1.49	44	>>2.0	455	40	11	85	1.1
実施例 9	(20nm CoFeZrB/5nm Fe-C ₅) x 20	5	0.25	1.47	48	>>2.0	410	35	12	105	1.2
比較例 2	500nm Co ₈₇ Zr ₅ Nb ₈	—	—	1.15	15	1.25	1091	1068	1	120	0.8
比較例 3	1000nm Co ₈₈ Zr ₆ Ta ₅	—	—	1.30	16	1.3	325	612	0.5	101	0.9
比較例 4	1000nm Co ₇₉ Fe ₉ Zr ₂ Ta ₁₀	—	—	1.10	36	1.8	327	191	1.7	125	1.1

第 25 图

	磁性薄膜構成	T1 (nm)	T1/T2	飽和磁化 (T)	共振 周波数(GHz)	μ' (at 1GHz)	μ'' (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	比抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	保磁力 H _{ce} (Oe)
実施例 10	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₉) x 250	1.0	1.0	1.43	>>2.0	515	35	15	150	0.6
実施例 11	(1.5nm CoZrNb/1.5nm Fe-C ₉) x 170	1.5	1.0	1.55	~2.0	720	55	13	130	0.6
実施例 12	(1.0nm CoZrNb/2.0nm Fe-C ₉) x 170	2.0	2.0	1.48	>>2.0	590	25	24	145	0.7
実施例 13	(1.0nm CoZrNb/2.8nm Fe-C ₉) x 20	2.8	2.8	1.50	>>2.0	550	25	22	140	0.8
実施例 14	(0.8nm CoZrNb/2.8nm Fe-C ₉) x 140	2.8	3.5	1.58	>>2.0	400	25	16	140	0.9
実施例 15	(2.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₉) x 170	1.0	0.5	1.39	1.7	755	130	6	125	0.6
比較例 5	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe) x 250	—	—	2.07	—	150	—	—	70	4.2
実施例 16	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₇) x 250	1.0	1.0	1.41	>2.0	600	50	12	140	0.6
実施例 17	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₁₀) x 250	1.0	1.0	1.40	~2.0	750	60	12	130	0.6
実施例 18	(1.0nm CoZrTa/1.0nm Fe-C ₉) x 250	1.0	1.0	1.44	>>2.0	520	35	15	150	0.6
実施例 19	(1.0nm CoFeZrB/1.0nm Fe-C ₉) x 250	1.0	1.0	1.50	>>2.0	530	30	17	140	0.6

第 26 图

	磁性薄膜構成	T1 (nm)	T1/T2	飽和磁化 (T)	異方性磁界 (Oe)	共振 周波数(GHz)	μ' (at 1GHz)	μ'' (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	比抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	保磁力 Hce(Oe)
実施例 20	(20nm CoZrNb/5nm FeCo-C ₂) × 20	5	0.25	1.65	45	>>2.0	420	30	14	91	1.3
実施例 21	(20nm CoZrNb/5nm Fe-B ₂) × 20	5	0.25	1.50	45	>>2.0	400	30	13	90	1.1
実施例 22	(20nm CoZrNb/5nm Fe-Co-B ₂) × 20	5	0.25	1.62	43	>>2.0	410	35	12	88	1.2
実施例 23	(20nm CoZrNb/5nm Fe-C ₅ -N ₂) × 20	5	0.25	1.51	40	>>2.0	420	35	12	93	1.0
実施例 24	(20nm CoZrNb/5nm Fe-Co-C ₂ -N ₂) × 20	5	0.25	1.62	40	>>2.0	400	25	16	92	1.1
実施例 25	(20nm CoZrNb/5nm FeCo-C ₂ -B ₂) × 20	5	0.25	1.62	43	>>2.0	410	35	12	89	1.1
実施例 26	(20nm CoZrNb/2nm FeCo-C ₂) × 20	2	0.10	1.51	42	>>2.0	380	30	13	85	1.0
実施例 27	(10nm CoZrNb/40nm FeCo-C ₂) × 20	40	4.00	1.80	102	>>2.0	350	30	12	48	1.9

特許協力条約に基づく国際出願願書

原本（出願用） - 印刷日時 2003年01月10日（10.01.2003）金曜日 12時17分02秒

VIII-5-1	不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て（規則4.17(v)及び51の2.1(a)(v)）	本国際出願に関し、 ティーディーケイ株式会社は、本国際出願の請求項に記載された対象が以下のように開示されたことを申し立てる。
VIII-5-1 (i)	開示の種類	その他：学会発表
VIII-5-1 (ii)	開示の日付：	2002年09月17日（17.09.2002）
VIII-5-1 (iii)	開示の名称：	社団法人日本応用磁気学会
VIII-5-1 (iv)	開示の場所：	
VIII-5-1 (v)	本申立ては、次の指定国のためになされたものである。：	すべての指定国

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/JP03/00163A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01F10/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01F10/00-10/32, H01F41/14-41/34Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 6-69032 A (Mitsubishi Electric Corp.), 11 March, 1994 (11.03.94), Full text; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1-4, 7-11 5-6, 12-14
Y	JP 2-143510 A (Research Institute For Production Development), 01 June, 1990 (01.06.90), Full text; Figs. 1 to 3 & US 5001018 A	5-6
Y	JP 7-29732 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 31 January, 1995 (31.01.95), Full text; Figs. 1 to 5 (Family: none)	12-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 April, 2003 (04.04.03)Date of mailing of the international search report
15 April, 2003 (15.04.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01F 10/16

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01F 10/00-10/32, H01F 41/14-41/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P 6-69032 A (三菱電機株式会社) 1994. 03. 11, 全文, 第1-8図 (ファミリーなし)	1-4, 7-11 5-6, 12-14
Y	J P 2-143510 A (財団法人生産開発科学研究所) 1990. 06. 01, 全文, 第1-3図 & US 5001018 A.	5-6

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04. 04. 03

国際調査報告の発送日

15.04.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山田 正文

5R

3142

電話番号 03-3581-1101 内線 3565

12-14